

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MYLENE GISELI DO NASCIMENTO

**APLICAÇÃO DOS RADIONUCLÍDEOS Cs-137 E Pb-210 NA DETERMINAÇÃO DA
TAXA DE SEDIMENTAÇÃO DE SEDIMENTOS RECENTES DA BAÍA DO
ALMIRANTADO, PENÍNSULA ANTÁRTICA**

PONTAL DO PARANÁ
2008

MYLENE GISELI DO NASCIMENTO

**APLICAÇÃO DOS RADIONUCLÍDEOS Cs-137 E Pb-210 NA DETERMINAÇÃO DA
TAXA DE SEDIMENTAÇÃO DE SEDIMENTOS RECENTES DA BAÍA DO
ALMIRANTADO, PENÍNSULA ANTÁRTICA.**

Monografia apresentada à disciplina de Estágio Supervisionado I como requisito parcial à conclusão do Curso de Oceanografia com Habilitação em Pesquisa Oceanográfica, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. César de Castro Martins

“Aos Curiosos”

***“É necessário ter espírito muito forte para
poder resistir à tentação das explicações
superficiais.”
A.Einstein***

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e toda minha família, por todo amor, carinho e apoio, fundamental para o meu desenvolvimento.

Ao Prof. Dr. César de Castro Martins, pela credibilidade, paciência e por representar um ótimo exemplo de dedicação, competência e profissionalismo, assim como pela ótima orientação executada neste trabalho.

Ao Prof. Dr. Rubens César Lopes Figueira, pelo o auxílio e cooperação em todas as fases deste trabalho.

Aos Profs. Rosalinda Carmela Montone, Rubens César Lopes Figueira e Lúcia Campos por cederem as amostras que foram utilizadas neste trabalho.

Aos membros da banca Dr. Fabian Sá e Dr. Rubens César Lopes Figueira.

Aos meus queridos amigos e colegas de Pontal do Sul, pelas ótimas histórias, situações das mais diversas e engraçadas, muitas conversas, pela convivência e por todo carinho nestes anos em Pontal do Sul. Especialmente minhas queridas amigas, Catherine, Lívia e Michelle, pela grande amizade construída neste período e por todos os momentos que passamos juntas e os novos que surgirão. E ao Felipe, Leonardo, Marco e Wagner pelo apoio, amizade, conversas divertidas e discussões.

Aos funcionários e professores do Centro de Estudos do Mar, especialmente ao Conrado Fernando Braga, pela ajuda com os computadores em várias ocasiões e a bibliotecária Mariluce Zanella pela atenção e boas conversas.

Enfim, agradeço a todos que direta ou indiretamente permitiram a conclusão deste trabalho.

RESUMO

Estudos sobre radionuclídeos naturais e artificiais em áreas pouco conhecidas, como a região antártica, são fundamentais para o entendimento e a compreensão de processos e dinâmicas naturais em ambientes marinhos. Esses estudos são relevantes tanto em relação a determinação de níveis dos elementos radioativos e taxas de sedimentação locais, quanto para a formulação de informações que ajudem no entendimento de impactos ambientais produzidos em escala global, uma vez que os radionuclídeos artificiais, como o ^{137}Cs , dispersos nos oceanos provém de atividades antrópicas, como testes e acidentes nucleares, distribuídos principalmente pelo *fall out* atmosférico de escala global. Durante as Operações Antárticas XXIV (janeiro/2006) e XXV (janeiro/2007), foram obtidos testemunhos de sedimento em cinco pontos distintos da Baía do Almirantado, Península Antártica, com o objetivo de determinar os níveis dos radioisótopos ^{137}Cs , ^{226}Ra e ^{210}Pb e as taxas de sedimentação em cada local. Os pontos foram denominados: Arctowski (62°10', 410' S; 058°31', 245' W), Botany Point (62°05', 841' S; 058°20', 320' W), Ponta Ulmann (62°05', 530' S; 058°20', 100' W), Steinhouse (62°04', 310' S; 058°22', 104' W) e Ferraz (62°05', 033' S, 058°22', 898' W). Os níveis dos radioisótopos foram determinados por espectrometria gama, através de um detector de germânio hiper-puro, tipo GMX 25190P acoplado a um analisador multicanal SPECTRUM MASTER™, modelo 92X-II, da EG&G/ORTEC. As atividades do ^{137}Cs , ^{210}Pb e ^{226}Ra foram determinadas pela medição direta do pico gama em 661,66 keV, 47 keV e 609 keV, respectivamente. As taxas de sedimentação foram obtidas pelos ^{137}Cs e o ^{210}Pb (modelos CIC e CRS). As atividades para o ^{137}Cs variaram de 0,84 a 7,09 Bq.kg⁻¹; para o ^{226}Ra foram de 6,77 a 31,07 Bq.kg⁻¹ e para o ^{210}Pb oscilaram de 1,10 a 36,90 Bq.kg⁻¹. As taxas de sedimentação, em cm.ano⁻¹, obtidas pelos três modelos oscilaram de 0,11 ± 0,01 a 0,46 ± 0,05. Os níveis de ^{137}Cs registrados neste estudo, assim como em outros trabalhos realizados na região antártica, sugerem que o *fall out* global é uma das principais vias de entrada de radionuclídeos artificiais neste ambiente, uma vez que a Antártica não sofreu diretamente a ação de atividades antrópicas responsáveis por este tipo de contaminação. As possíveis variações granulométricas que ocorrem nos pontos estudados da Baía do Almirantado podem explicar as diferenças encontradas na distribuição vertical dos radionuclídeos assim como os diferentes valores de taxa de sedimentação e das respectivas datações determinadas nos perfis.

Palavras-chave: radionuclídeos, ^{137}Cs , ^{210}Pb , ^{226}Ra , taxa de sedimentação, sequência sedimentar, Baía do Almirantado, Antártica.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 -	DISTRIBUIÇÃO E CIRCULAÇÃO DO <i>FALLOUT</i> ENTRE OS HEMISFÉRIOS.....	12
FIGURA 2 -	VIAS DE TRANSFERÊNCIA DOS RADIONUCLÍDEOS NO MEIO MARINHO, APRESENTANDO OS DIVERSOS COMPARTIMENTOS EXISTENTES.	14
FIGURA 3 -	PRODUÇÃO DO ^{137}Cs A PARTIR DA FISSÃO DO ^{235}U	15
FIGURA 4 -	SÉRIE DE DECAIMENTO DO ^{238}U . EM DESTAQUE, OS RADIONUCLÍDEOS QUE PARTICIPAM DIRETAMENTE COMO FONTES DE ^{210}Pb	17
FIGURA 5 -	ÁREA DE ESTUDO. MAPA 1 – CONTINENTE ANTÁRTICO; MAPA 2 – PENÍNSULA ANTÁRTICA E ARQUIPÉLAGO DE SHETLAND DO SUL; MAPA 3 – BAÍA DO ALMIRANTADO; MAPA 4 – ENSEADA MARTEL (MARTINS, 2001).....	22
FIGURA 6 -	LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS AMOSTRADOS. 1 - FERRAZ , 2 - STEINHOUSE, 3 – PONTA ULMANN, 4 - BOTANY POINT, 5 – ARCTOWSKI.....	26
FIGURA 7 -	EXEMPLO DE ESPECTRO DE ATIVIDADE DE RADIONUCLÍDEOS GERADO PELA ESPECTROMETRIA GAMA	28
FIGURA 8 -	PERFIS DE DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DOS RADIONUCLÍDEOS ^{137}Cs , ^{226}Ra E ^{210}Pb EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE PARA A SEQUÊNCIA SEDIMENTAR DE ARCTOWSKI	37
FIGURA 9 -	PERFIS DE DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DOS RADIONUCLÍDEOS ^{137}Cs , ^{226}Ra E ^{210}Pb EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE PARA A SEQUÊNCIA SEDIMENTAR DE BOTANY POINT.....	38
FIGURA 10 -	PERFIS DE DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DOS RADIONUCLÍDEOS ^{137}Cs , ^{226}Ra E ^{210}Pb EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE PARA A SEQUÊNCIA SEDIMENTAR DE FERRAZ.....	39
FIGURA 11 -	PERFIS DE DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DOS RADIONUCLÍDEOS ^{137}Cs , ^{226}Ra E ^{210}Pb EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE PARA A SEQUÊNCIA SEDIMENTAR DE STEINHOUSE	40
FIGURA 12 -	PERFIS DE DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DOS RADIONUCLÍDEOS ^{137}Cs , ^{226}Ra E ^{210}Pb EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE PARA A SEQUÊNCIA SEDIMENTAR DE PONTA ULMANN.	41

FIGURA 13 -	COMPARAÇÃO ENTRE AS ESTIMATIVAS DE IDADES PARA CADA SECÇÃO DO PERFIL DE DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DO ^{137}Cs EM ARCTOWSKI, BAÍA DO ALMIRANTADO, GERADAS PELOS MÉTODOS CIC, CRS E ^{137}Cs , RESPECTIVAMENTE.....	52
FIGURA 14 -	COMPARAÇÃO ENTRE AS ESTIMATIVAS DE IDADES PARA CADA SECÇÃO DO PERFIL DE DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DO ^{137}Cs EM BOTANY POINT, BAÍA DO ALMIRANTADO, GERADAS PELOS MÉTODOS CIC, CRS E ^{137}Cs , RESPECTIVAMENTE.....	53
FIGURA 15 -	COMPARAÇÃO ENTRE AS ESTIMATIVAS DE IDADES PARA CADA SECÇÃO DO PERFIL DE DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DO ^{137}Cs EM FERRAZ, BAÍA DO ALMIRANTADO, GERADAS PELOS MÉTODOS CIC E ^{137}Cs , RESPECTIVAMENTE.....	54
FIGURA 16 -	COMPARAÇÃO ENTRE AS ESTIMATIVAS DE IDADES PARA CADA SECÇÃO DO PERFIL DE DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DO ^{137}Cs EM STEINHOUSE, BAÍA DO ALMIRANTADO, GERADAS PELOS MÉTODOS CIC E ^{137}Cs , RESPECTIVAMENTE.....	56
FIGURA 17 -	COMPARAÇÃO ENTRE AS ESTIMATIVAS DE IDADES PARA CADA SECÇÃO DO PERFIL DE DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DO ^{137}Cs EM PONTA ULMANN, BAÍA DO ALMIRANTADO, GERADAS PELOS MÉTODOS CIC E ^{137}Cs , RESPECTIVAMENTE.....	58

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 -	PONTOS DE AMOSTRAGENS E SUAS RESPECTIVAS CARACTERÍSTICAS.	25
TABELA 2 -	NÍVEIS DE ^{137}Cs DETERMINADOS NAS CINCO COLUNAS SEDIMENTARES DA BAÍA DO ALMIRANTADO, PENÍNSULA ANTÁRTICA.....	32
TABELA 3 -	NÍVEIS DE ^{226}Ra DETERMINADOS NAS CINCO COLUNAS SEDIMENTARES DA BAÍA DO ALMIRANTADO, PENÍNSULA ANTÁRTICA.....	34
TABELA 4 -	NÍVEIS DE ^{210}Pb DETERMINADOS NAS CINCO COLUNAS SEDIMENTARES DA BAÍA DO ALMIRANTADO, PENÍNSULA ANTÁRTICA	35
TABELA 5 -	PARÂMETROS GRANULOMÉTRICOS EM SEDIMENTOS SUPERFICIAIS DA BAÍA DO ALMIRANTADO. (VERÃO 2004/2005) FONTE : BERBEL (2008).....	43
TABELA 6 -	NÍVEIS DE RADIONUCLÍDEOS ENCONTRADOS COMPARADOS COM VALORES DE OUTROS TRABALHOS CONSULTADOS	45
TABELA 7 -	VALORES DE TAXA DE SEDIMENTAÇÃO DOS CINCO PONTOS AMOSTRADOS DA BAÍA DO ALMIRANTADO, DETERMINADAS PELO ^{210}Pb E ^{137}Cs	48

SUMÁRIO

RESUMO.....	5
LISTA DE FIGURAS.....	6
LISTA DE TABELAS.....	8
1 INTRODUÇÃO.....	10
1.1 RADIONUCLÍDEOS NO AMBIENTE MARINHO.....	10
1.2 TAXAS DE SEDIMENTAÇÃO A PARTIR DE RADIONUCLÍDEOS.....	16
1.3 RADIONUCLÍDEOS ARTIFICIAIS NO AMBIENTE MARINHO ANTÁRTICO.....	19
2 OBJETIVOS.....	21
2.1 OBJETIVO GERAL.....	21
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
3 ÁREA DE ESTUDO.....	22
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	25
4.1 AMOSTRAGEM.....	25
4.2 DETERMINAÇÃO DOS RADIONUCLÍDEOS ^{137}Cs , ^{210}Pb total e ^{226}Ra	27
4.3 OBTENÇÃO DAS TAXAS DE SEDIMENTAÇÃO.....	29
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	32
5.1 NÍVEIS DE RADIONUCLÍDEOS ^{137}Cs , ^{210}Pb e ^{226}Ra	32
5.2 PERFIS DE DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DOS RADIONUCLÍDEOS ESTUDADOS.....	36
5.3 DISCUSSÃO SOBRE OS NÍVEIS ENCONTRADOS DE ^{137}Cs , ^{226}Ra e ^{210}Pb	42
5.4 TAXAS DE SEDIMENTAÇÃO OBTIDAS PELOS RADIONUCLÍDEOS ^{210}Pb e ^{137}Cs	47
5.5 DISCUSSÃO SOBRE AS TAXAS DE SEDIMENTAÇÃO OBTIDAS.....	49
5.6 DATAÇÃO PELO PICO DO ^{137}Cs e COMPARAÇÃO COM OS VALORES DE ^{210}Pb	51
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	60
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62
8 ANEXOS.....	67

1 INTRODUÇÃO

1.1 RADIONUCLÍDEOS NO AMBIENTE MARINHO

Os radionuclídeos são amplamente utilizados em vários ramos da ciência. Destaca-se o uso de radioisótopos como traçadores ou “marcadores” de eventos ocorridos no passado. Segundo ARGOLLO (2001), os radioisótopos naturais e antropogênicos têm sido largamente aplicados em estudos ambientais nas últimas duas décadas como cronômetros em processos de sedimentação marinha e lacustre.

Esses elementos radioativos são divididos em naturais e artificiais. Definir suas origens, fontes e destinos no ambiente são fatores cruciais para estudos sobre radioquímica.

De um modo geral, os radioisótopos naturais na Terra provêm de várias fontes. As três famílias naturais principais eram coincidentes com a formação da Terra: ^{238}U ($t_{1/2} = 4,5 \times 10^9$ anos), ^{232}Th ($t_{1/2} = 1,4 \times 10^{10}$ anos) e ^{235}U ($t_{1/2} = 7,1 \times 10^8$ anos), sendo que o ^{238}U decai para ^{226}Ra ($t_{1/2} = 1622$ anos) e ^{210}Pb ($t_{1/2} = 20,4$ anos) (VENDRAME, 2007). Geralmente, estes elementos naturais terrestres possuem meias-vidas longas, e o ^{238}U e ^{232}Th aparecem como os mais abundantes e suas concentrações variam para diferentes tipos de solo e de rochas, sendo que o decaimento radioativo destes apresenta-se na forma de uma série, resultando na produção de mais de 40 radionuclídeos filhos (MOSQUERA, 2004).

Já os radionuclídeos artificiais, como o ^{137}Cs e ^{239}Pu , são produzidos e liberados para o ambiente devido às atividades antrópicas. Nos últimos 50 anos, uma grande difusão destes elementos artificiais ocorreu em todas as matrizes da biosfera, sendo apontada como consequência do incremento de pesquisas nucleares e da utilização de energia nuclear tanto para fins militares como para civis (DESIDERI *et al.*, 2003).

Segundo AARKROG (1994), esses radionuclídeos antrópicos têm sido introduzidos nos oceanos primariamente pelo *fallout* global, derivado de testes atmosféricos com armas nucleares, que aconteceram principalmente no final dos anos 50 e início dos anos 60, sendo que pelo padrão de *fallout*, aproximadamente

75% do ingresso foi destinado para o Atlântico Norte e 25% para o Atlântico Sul, e em cada hemisfério, a contaminação foi máxima nas latitudes médias, e mínima no Equador e nos pólos.

SCHULLER *et al.*, (2002) consideram o *fallout* produzido por estes testes como a fonte mais significativa de radionuclídeos, como o ^{137}Cs , no hemisfério sul, essencialmente entre os anos de 1952 e 1963. Os testes nucleares alcançaram seus pontos culminantes durante o período de 1954 a 1958, quando foram feitas as explosões pelos Estados Unidos, ex-URSS e Reino Unido, e entre 1961 e 1962 pelos Estados Unidos e a ex-URSS (FIGUEIRA & CUNHA, 1997).

Aproximadamente 518 explosões nucleares atmosféricas foram realizadas no período de 1945 até 1980 (STRAND *et al.*, 2002). Desta forma, os testes nucleares contribuíram de forma significativa com o aumento de níveis da radioatividade natural, uma vez que seus resíduos radioativos foram lançados para a atmosfera e espalharam-se pela superfície do planeta, no ar, nos corpos hídricos e solo (VENDRAME, 2007). Assim, o *fallout* radioativo pode ser considerado uma das principais vias de contaminação dos oceanos por radioisótopos (FIGUEIRA, 2000).

Segundo FIGUEIRA & CUNHA (1997) o fenômeno de *fallout* (Figura 1) ocorre quando em uma explosão nuclear, todo o material é vaporizado devido ao intenso calor produzido. No resfriamento, os principais óxidos condensam e são misturados ao material particulado constituído de sulfato e persulfato de amônio. Estas partículas sólidas, com uma atividade praticamente proporcional ao seu volume e alcançando um diâmetro de 0,1 até 1,0 μm , constituem os fragmentos de *fallout*. Os fragmentos nucleares alcançam a troposfera e a estratosfera, e através da circulação atmosférica são distribuídos para o globo terrestre entre duas a três semanas, onde a seguir atingem a superfície. Os fragmentos encontrados no hemisfério sul são principalmente provenientes da estratosfera.

Além dos testes e bombas nucleares, os elementos radioativos podem ser introduzidos nos ambientes de outras formas. Podem ser citados inúmeros eventos que caracterizam relevantes informações para estudos com radionuclídeos, que liberaram elementos, tanto naturais quanto artificiais na natureza, aumentando sua abundância já existente. Como alguns marcos históricos da radioatividade encontra-se o “Projeto Manhattan”, realizado pelos EUA a partir de 1942, impulsionado pela Segunda Guerra Mundial, tendo como objetivo construir armas nucleares.

Este projeto foi o responsável pela detonação (16 de julho de 1945) da primeira bomba atômica da história, no estado do Novo México nos EUA.

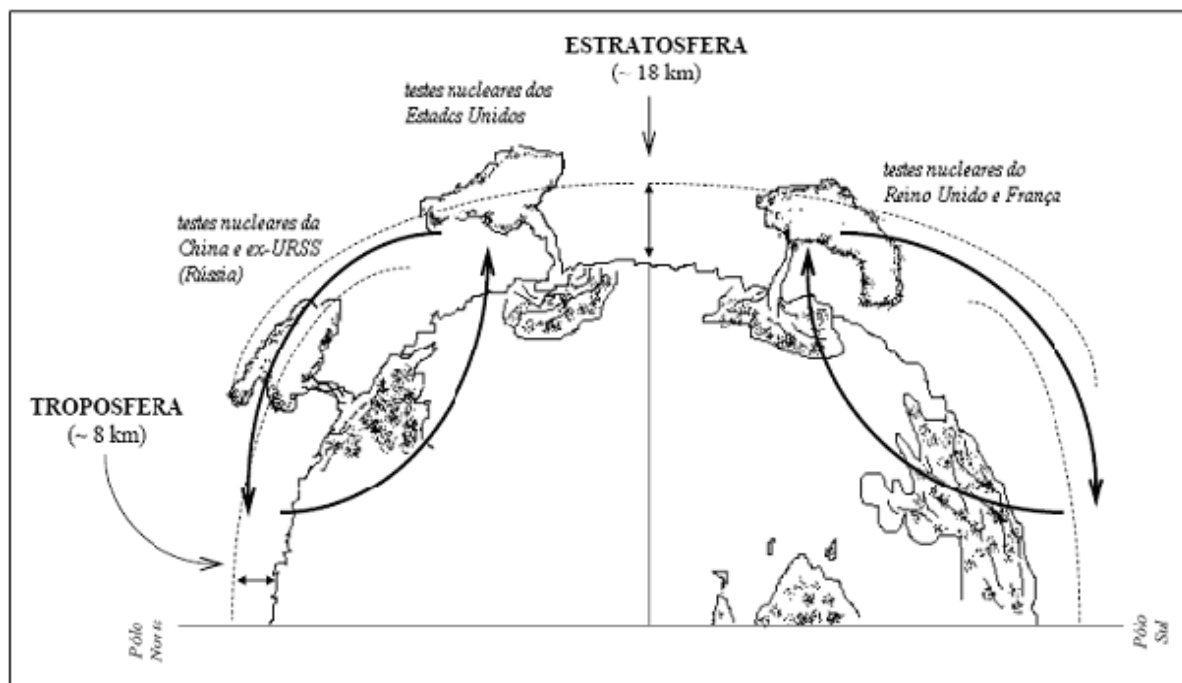


FIGURA 1 - DISTRIBUIÇÃO E CIRCULAÇÃO DO *FALLOUT* ENTRE OS HEMISFÉRIOS (KATHREN, 1984 APUD FIGUEIRA, 2000).

No mesmo ano, 1945, as bombas atômicas detonadas em Hiroshima (chamada “Little Boy”) e Nagasaki (chamada “Fat Man”), também representam importantes eventos da radioatividade. Os acidentes do reator de Windscale, em 1957, da usina nuclear americana Three Mile Island, em março de 1979 e o acidente nuclear de Chernobyl, na atual Ucrânia, em 26 de abril de 1986, considerado o mais grave acidente nuclear da história, são importantes registros do histórico da radioatividade mundial (XAVIER *et al.*, 2007).

A partir da década de 80, os acidentes radiológicos e nucleares passaram a ser considerados as principais fontes de liberação de radionuclídeos artificiais para o ambiente de uma forma geral (ANJOS, 2004).

Podem ser definidas cinco categorias de atividade humanas distintas, que foram, são e poderão ser responsáveis pela contaminação do ambiente marinho por radioisótopos (FIGUEIRA, 2000), são elas:

- a explosão de armas nucleares, tanto na atmosfera como em sítios subterrâneos;
- as descargas de efluentes radioativos de baixa atividade dos reatores nucleares em usinas de reprocessamento, indústrias, hospitais, centros de pesquisa e instalações de armas nucleares;
- a disposição de rejeitos radioativos no fundo dos oceanos, provenientes principalmente de instalações nucleares e que são normalmente estocados em tambores de aço e concreto;
- os acidentes nucleares, como o de Chernobyl, que causou uma deposição direta de radionuclídeos em mares locais e áreas próximas, e;
- os acidentes envolvendo materiais radioativos, navios ou submarinos nucleares naufragados, a queda de aviões contendo material radioativo ou armas nucleares e a reentrada na atmosfera de satélites que contenham combustível nuclear.

Os radionuclídeos lançados no meio marinho podem ser dispersos, diluídos, redistribuídos e finalmente acumulados em compartimentos específicos do ecossistema, sendo influenciados por fatores físicos, químicos e biológicos (FIGUEIRA & CUNHA, 1997). Dentre estes fatores o mais complexo é o fator biológico, por abranger a flora, a fauna local e migratória, bem como o próprio homem. A interação do radionuclídeo com partículas na água e nos sedimentos poderá modificar o seu comportamento e controlar o seu transporte e destino no ambiente (Figura 2).

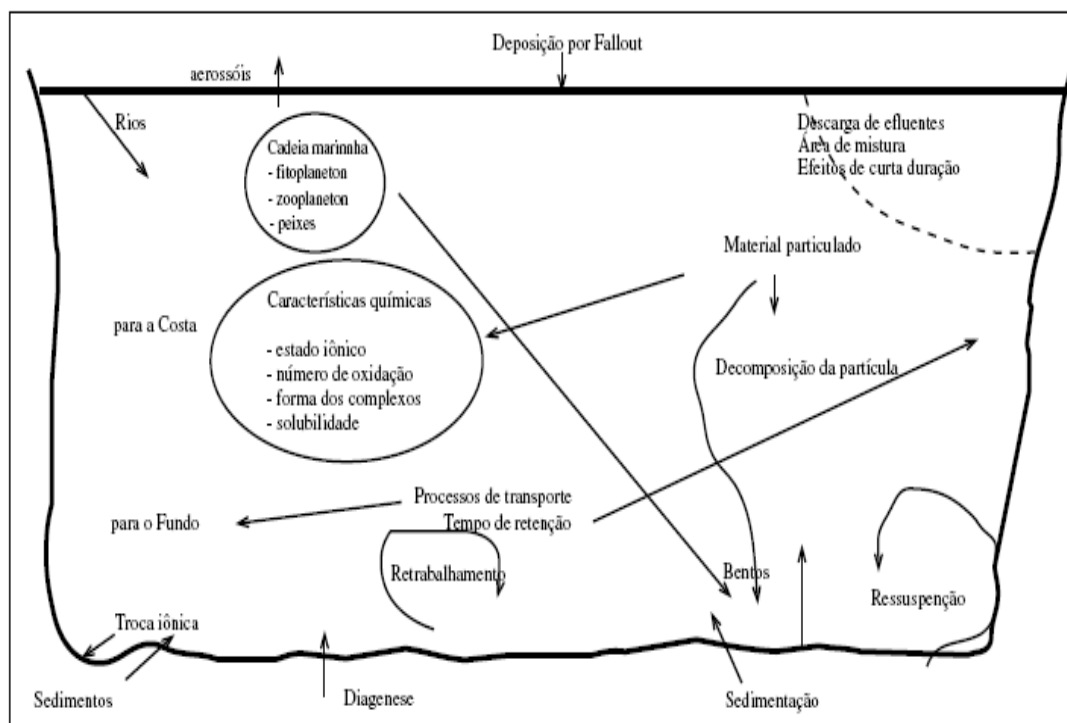


FIGURA 2 - VIAS DE TRANSFERÊNCIA DOS RADIONUCLÍDEOS NO MEIO MARINHO, APRESENTANDO OS DIVERSOS COMPARTIMENTOS EXISTENTES (FIGUEIRA & CUNHA, 1997).

A poluição radioativa compreende mais de 200 nuclídeos, sendo que do ponto de vista de impacto ambiental, destacam-se o ^{137}Cs e o ^{90}Sr , devido às suas características nucleares (alto rendimento de fissão e meia-vida longa). Nos processos biológicos, o céσιο e o estrôncio, semelhantes quimicamente ao potássio e cálcio tendem a acompanhá-los depositando-se parcialmente nos músculos e ossos, respectivamente (FIGUEIRA & CUNHA, 1997). Além disso, a contaminação por ^{137}Cs geralmente é mais elevada em ambientes costeiros visto que em sistemas oceânicos a presença de forte circulação de massas d'água intensifica fenômenos como diluição e autodepuração (DESIDERI *et al*, 2003). O ^{137}Cs encontra-se presente na coluna d'água como íons simples, sofrendo uma ação de dispersão devido a diluição no mar, podendo participar de reações de troca com sólidos em suspensão, especialmente argilas (FIGUEIRA & CUNHA, 1997).

O radioisótopo ^{137}Cs é produzido de forma artificial a partir da fissão do ^{235}U , passando pelo ^{137}Te , ^{137}I e ^{137}Xe , resultando ao final o ^{137}Ba (estável) segundo a seqüência de decaimento apresentada na Figura 3:

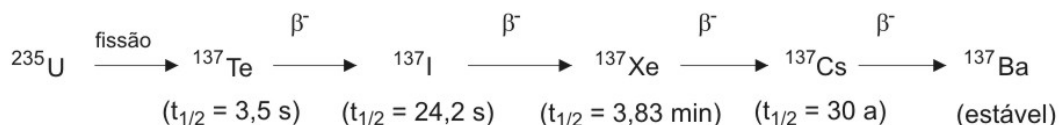


FIGURA 3 - PRODUÇÃO DO ${}^{137}\text{Cs}$ A PARTIR DA FISSÃO DO ${}^{235}\text{U}$ (VENDRAME, 2007).

Já o ${}^{210}\text{Pb}$ presente nos mares e oceanos é parte proveniente da atmosfera e pelo decaimento do ${}^{226}\text{Ra}$ existente na água. O ${}^{210}\text{Pb}$ é rapidamente removido da água por reações inorgânicas e bioquímicas, adsorvido por matérias em suspensão e decanta com o fluxo de partículas de sedimentação (ARGOLLO, 2001) sendo preferencialmente adsorvido por minerais de argilosos, siltes finos e substâncias húmicas (CUNDY & CROUDACE, 1995).

Tanto por questões de monitoramento ambiental e estudos de dinâmica oceânica, trabalhos sobre distribuição e comportamento de radionuclídeos nos oceanos são muito interessantes (LIVINGSTON & POVINEC, 2000).

As pesquisas radioecológicas são importantes ferramentas para o entendimento da circulação atmosférica (GODOY *et al.*, 1998), de transporte atmosférico de substâncias antrópicas (JIA *et al.*, 2000), além de possibilitar informações sobre dinâmicas sedimentares, circulação de massas de água dos ambientes estudados e vários processos locais.

Somando-se a isso, estudos sobre radioisótopos no ambiente marinho refletem as atividades humanas desenvolvidas em diferentes regiões do planeta, sendo um indicador de eventos relacionados à poluição radioativa com conseqüências em escala global.

1.2 TAXAS DE SEDIMENTAÇÃO A PARTIR DE RADIONUCLÍDEOS

A utilização de radionuclídeos para a determinação de taxas de sedimentação constitui-se em uma importante ferramenta para diversos estudos ambientais, como a obtenção de datações de colunas sedimentares, além do grande potencial como indicadores de atividades humanas (LICÍNIO *et al.*, 2005).

Segundo SMITH & BEWERS (1993), estudos sobre o emprego de traçadores radioativos e taxas de sedimentação baseados em radionuclídeos, em especial o ^{210}Pb e ^{137}Cs , têm sido considerados como importantes ferramentas no entendimento da dinâmica de aporte e dispersão de elementos provenientes de diversas fontes para os ambientes marinhos. Esses elementos são aplicados principalmente em trabalhos de determinação de taxas de sedimentação recentes, por apresentarem meias-vidas de 22,26 e 30 anos, respectivamente (CARROL & LERCHE, 2003).

A possibilidade de relacionar atividades de radionuclídeos em perfis com as profundidades tem permitido datar sedimentos e correlacionar à idade de cada camada de colunas sedimentares (GELEN *et al.*, 2004). Deste modo, estudos sobre taxas de sedimentação e datações de seqüências sedimentares em ambientes marinhos rasos têm se constituído em um dos campos de pesquisa em Ciências da Terra, de maior desenvolvimento técnico-científico ao longo do século XX (TESSLER, 2001).

De acordo com LU & MATSUMOTO (2005), a datação com ^{210}Pb foi utilizada inicialmente por Goldberg, em 1963, e é fundamentada no princípio de que é possível estimar a atividade inicial do ^{210}Pb na superfície do sedimento e determinar o tempo de deposição das camadas sedimentadas.

Segundo ARGOLLO (2001), o ^{210}Pb , produto de decaimento do ^{226}Ra na série radioativa do ^{238}U (Figura 4), é um radionuclídeo que ocorre naturalmente com uma meia-vida de 22,26 anos. Algumas propriedades nucleares e químicas favoráveis combinam-se para torná-lo um traçador útil no estudo de ambientes marinhos e lacustres. Nos oceanos e lagos, ele é suprido via precipitação atmosférica como também pelo decaimento radioativo do ^{226}Ra presente nas águas.

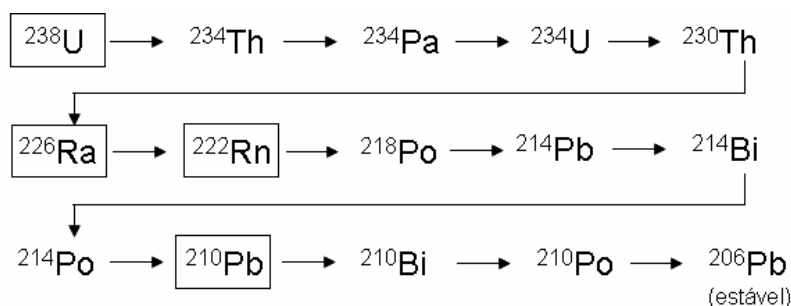


FIGURA 4 - SÉRIE DE DECAIMENTO DO ^{238}U . EM DESTAQUE, OS RADIONUCLÍDEOS QUE PARTICIPAM DIRETAMENTE COMO FONTES DE ^{210}Pb (MARTINS & FIGUEIRA, 2008).

O suprimento atmosférico é derivado dos átomos de ^{222}Rn , um precursor do ^{210}Pb na série do ^{238}U , os quais escapam dos solos para a atmosfera numa taxa média de $42 \text{ átomos} \cdot \text{min} \cdot \text{cm}^{-2}$ (TESSLER, 2001).

O ^{222}Rn , com uma meia-vida de 3,8 dias, decai na atmosfera, onde, seguindo-se uma série de decaimentos de radionuclídeos intermediários de vida curta, o ^{210}Pb é formado. Na atmosfera, os átomos de ^{210}Pb têm um tempo de residência em torno de 10 dias (TESSLER, 2001). Esses átomos aderem aos aerossóis e são removidos da atmosfera seja por chuva, neve ou precipitação seca, sendo posteriormente introduzidos nas águas dos oceanos, lagos e nas geleiras, através de suas superfícies. Na massa d'água, o ^{210}Pb é rapidamente removido por reações inorgânicas e bioquímicas, adsorvido por matérias em suspensão, afundando com o fluxo de partículas de sedimentação (ARGOLLO, 2001).

Deste modo, nos sedimentos, existe ^{210}Pb produzido *in situ* pelo ^{226}Ra presente em seus minerais constituintes, sendo denominado de ^{210}Pb suportado, o qual está normalmente em equilíbrio radioativo com o ^{226}Ra , também presente nesses minerais. O ^{210}Pb precipitado da coluna d'água vem, portanto, constituir-se num excesso de ^{210}Pb relativo ao ^{210}Pb suportado, o qual é chamado de ^{210}Pb não suportado ou em excesso (ARGOLLO, 2001).

Existem dois modelos matemáticos que podem ser aplicados na determinação de taxas de sedimentação de perfis sedimentares (WALKER, 2005), são eles:

- CRS (*Constant Rate Supply*): baseia-se na suposição de que fluxo de ^{210}Pb não suportado, em sistemas fechados, seja constante ao longo da coluna sedimentar por pelo menos 200 anos.

- CIC (*Constant Initial Concentration*): assume que na escala de tempo estudada, a concentração de ^{210}Pb no sedimento é constante.

Segundo LIMA (1996), a principal diferença entre esses modelos é que o CIC assume que as velocidades de sedimentação das partículas são constantes durante o período em que se pode medir o ^{210}Pb não-suportado e, portanto, necessita de correções para efeito de compactação do sedimento (através de sua porosidade). Já o modelo CRS considera que qualquer variação na velocidade de sedimentação e o efeito de compactação são automaticamente corrigidos.

Muitos trabalhos de datações por ^{210}Pb utilizam outras metodologias para corroborar seus valores, sendo o método que utiliza o radionuclídeo ^{137}Cs um dos mais empregados para este fim (LU & MATSUMOTO, 2005; ÁLVAREZ-IGLESIAS *et al.*, 2007).

Taxas de sedimentação usando o ^{137}Cs são tradicionalmente calculadas relacionando-se a primeira ocorrência do radioisótopo na seqüência do sedimento com o ano de 1954 e a máxima atividade com 1963 (ARGOLLO, 2001; UEDA *et al.*, 2005). Neste contexto, a profundidade na qual se considera a maior concentração de ^{137}Cs no hemisfério sul, corresponde ao período entre 1963 e 1965.

O cálculo da taxa de sedimentação por este método implica em assumir que não houve variações significativas nesta taxa ao longo dos anos anteriores e subseqüentes ao período de maior deposição de ^{137}Cs nos sedimentos.

Por outro, a detecção de níveis constantes de ^{137}Cs nos sedimentos compreendidos entre o topo do testemunho e a secção onde ocorre a maior atividade do ^{137}Cs , pode indicar a manutenção da taxa de sedimentação estimada, já que a introdução deste radionuclídeo ao longo dos anos tem sofrido poucas variações.

A precisão dos resultados obtidos é uma conjunção de diferentes fatores que englobam, desde a garantia de estabilidade do radionuclídeo junto à matriz ao qual foi incorporado em seu processo de sedimentação, até a precisão do detector utilizado no procedimento de contagem das emissões das partículas beta ou dos raios gama (TESSLER, 2001).

1.3 RADIONUCLÍDEOS ARTIFICIAIS NO AMBIENTE MARINHO ANTÁRTICO

A Antártica pode ser considerada uma das áreas mais intactas no mundo, onde a influência humana está restrita às atividades científicas desenvolvidas, em grande parte, em torno das estações de pesquisas, e ao desenvolvimento recente do fluxo turístico em torno desta região (RISEBROUGH, 1992).

Entretanto, apesar de haver mínima atividade humana (cerca de 2000-3000 pessoas no período de verão) e nenhum processo industrial significativo, o histórico da exploração dos recursos vivos do ecossistema marinho antártico durante os últimos dois séculos, sugere que os impactos dessa atividade humana não devem ser desconsiderados (CRIPPS, 1992).

Pesquisas sobre níveis e distribuição de radionuclídeos na Antártica são de grande interesse para as estimativas de poluição radioativa ocasionada por testes de bombas e acidentes nucleares (JIA *et al.*, 2000).

Embora nenhum tipo de atividade nuclear tenha sido reportado nesta região, elementos químicos radioativos provenientes de acidentes nucleares e testes com armas de destruição em massa em outras regiões do planeta têm sido preliminarmente, detectados em amostras bióticas e abióticas da região antártica.

Trabalhos como FIGUEIRA *et al.*, (2005), DESIDERI *et al.*, (2003), GODOY *et al.*, (1998), NAVAS *et al.*, (2005), JIA *et al.*, (2000) e VENDRAME (2007), detectaram níveis de elementos radioativos artificiais, comprovando a presença destes radioisótopos neste ambiente, sendo a atmosfera, através do *fall out*, considerada a principal via de contaminação radioativa da Antártica (VENDRAME, 2007).

A maioria dos trabalhos sobre radioatividade ambiental tem sido desenvolvida na Europa e Estados Unidos, enquanto dados do continente antártico são escassos (AARKROG, 1994). Isso torna o conhecimento sobre a distribuição e mobilidade de radionuclídeos naturais e artificiais na Antártica de grande importância (NAVAS *et al.*, 2005).

Desde modo, pesquisas sobre níveis de elementos radioativos nesta área servem de base para estimar futuros impactos da poluição radioativa, auxiliar no entendimento da dinâmica dos processos marinhos, assim como ajudar na avaliação de impactos ocasionados por atividades antrópicas globais.

Assim, destaca-se o potencial de estudos radioecológicos na compreensão da estimativa global sobre a poluição ocasionada pelos testes e acidentes nucleares que efetivamente contribuíram para a chegada de radionuclídeos no ambiente antártico (JIA *et al.*, 2000).

Neste contexto, o presente trabalho, englobado no projeto “*Evolução geocronológica das atividades humanas baseadas em indicadores de queima de combustíveis fósseis em sedimento da Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Península Antártica* (CNPq 557306/05-1)”, é de grande importância na geração de informações necessárias para o monitoramento, previsão e análise histórica dos impactos ambientais produzidos em escala global nesta área exótica e única.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

- Determinar os níveis dos radionuclídeos ^{210}Pb , ^{226}Ra e ^{137}Cs e as taxas de sedimentação de cinco colunas sedimentares coletadas na região da Baía do Almirantado, sendo as taxas de sedimentação obtidas através dos níveis destes radionuclídeos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Relacionar a distribuição dos níveis dos elementos ^{137}Cs , ^{226}Ra e ^{210}Pb com valores obtidos por outros autores em diferentes regiões do mundo a fim de avaliar a deposição destes radionuclídeos na região da Baía do Almirantado; e estabelecer, dentro do possível, relações com principais eventos históricos de introdução de radioisótopos artificiais no ambiente marinho.
- Obter um modelo geocronológico de idade baseado na comparação das taxas de sedimentação, determinadas por diferentes métodos radiométricos, ou seja, a partir dos níveis de ^{137}Cs e ^{210}Pb em colunas sedimentares.

3. ÁREA DE ESTUDO

Desde as primeiras atividades humanas desenvolvidas no continente antártico, a Ilha Rei George, têm sido um dos mais locais mais visitados e mais densamente povoados da Antártica. William Smith descobriu a Ilha Rei George em 1819, estabelecendo um acampamento e pontos de atracação de barcos nesta região. Velejadores e caçadores de baleias seguiram para este local, aproveitando o fato de ser uma área geomorfológicamente abrigada (MATTHIAS *et al.*, 2001).

A área de estudo em que este trabalho foi realizado é a Baía do Almirantado (Figura 5), a qual está localizada na parte central da Ilha Rei George, que pertence ao arquipélago das Shetlands do Sul, situado 130 km a noroeste da Península Antártica, entre as latitudes 61° S e 63°30' S e longitudes 53°55' W e 62°50' W (ARIGONY *et al.*, 2002).

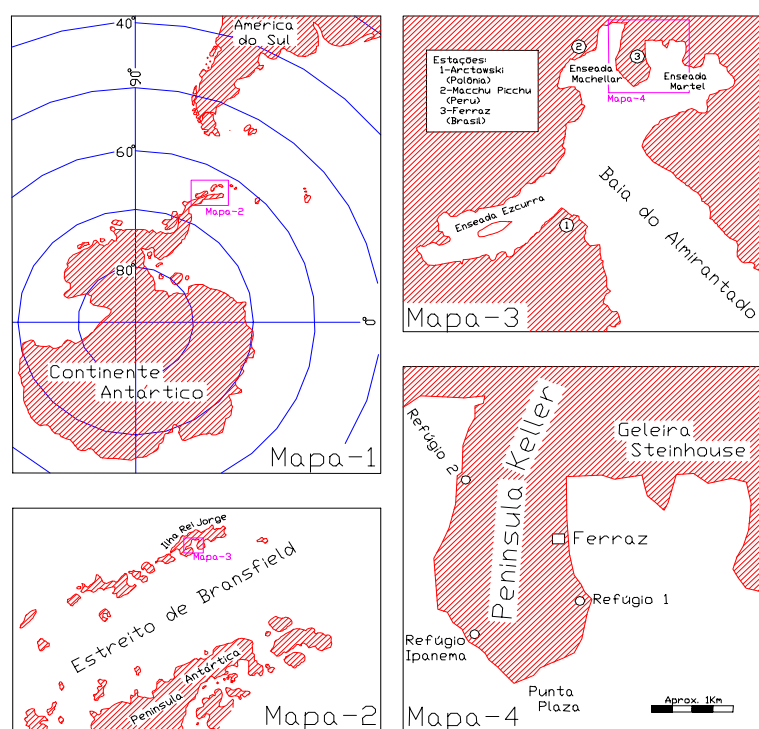


FIGURA 5 - ÁREA DE ESTUDO. MAPA 1 – CONTINENTE ANTÁRTICO; MAPA 2 – PENÍNSULA ANTÁRTICA E ARQUIPÉLAGO DE SHETLAND DO SUL; MAPA 3 – BAÍA DO ALMIRANTADO; MAPA 4 – ENSEADA MARTEL (MARTINS, 2001).

A Baía do Almirantado apresenta 131 km² de área, profundidades de até 530 metros e uma linha de costa com muitas reentrâncias. O perfil de fundo é variável alternando quedas e elevações progressivas.

Esta diversidade topográfica é responsável pelo surgimento de várias áreas localizadas de ressurgências, caracterizadas por um aporte substancial de silicatos. A porção oeste da baía é dominada por praias de rochas e seixos, enquanto praias de glaciares prevalecem ao norte e leste (RAKUSA-SUSZCZEWSKI, 1995). Já as praias a oeste, as quais são de fácil acesso por água, são áreas de especial importância para aves e mamíferos marinhos (RAKUSA-SUSZCZEWSKI, 1980).

A Baía do Almirantado possui três grandes enseadas com uma estação de pesquisa em cada. Na enseada Martel encontra-se a estação brasileira Comandante Ferraz (EACF), na enseada Mackellar está a estação peruana Machu Picchu e na enseada Ezcurra localiza-se a estação polonesa Henry Arctowski.

A região apresenta maiores profundidades na Enseada Ezcurra, de 270 metros na parte leste a 80 metros a oeste. Na parte central, a leste da Ilha Dufayel, há uma abrupta redução de profundidade para 75 metros. Já nas Enseadas Mackellar e Martel são registradas profundidades variáveis, havendo intensos mecanismos de modificação do fundo que estão relacionados a processos de erosão e acumulação glacial (RAKUSA-SUSZCZEWSKI, 1980).

Segundo RAKUSA-SUSZCZEWSKI (1995), a hidrologia e a hidrodinâmica na Baía do Almirantado são influenciadas pela troca de águas com o Estreito de Bransfield, pelo aporte de água doce do continente e por processos locais associados à *fjords*.

A circulação no interior da baía é bastante fragmentada, entretanto regida basicamente pelas marés e trocas com as águas do Estreito de Bransfield. As marés são irregulares, sendo que a direção do movimento das águas muda irregularmente em intervalos de 5 a 14 horas. Observações do movimento de icebergs na entrada da baía indicam a presença de uma corrente permanente nas direções nordeste e leste-nordeste. Estima-se que as águas da Baía do Almirantado são trocadas num período de uma a duas semanas (RAKUSA-SUSZCZEWSKI, 1995).

As águas provenientes do Estreito de Bransfield entram pela Enseada Ezcurra ressurgindo à superfície ao encontrar elevações de fundo. Move-se na direção noroeste da Enseada Ezcurra, retornando ao Estreito de Bransfield pelo lado leste da baía. Esta comunicação é feita por um canal com cerca de 500 metros de profundidade e formato em “U”, típico de regiões de *fjords* (LIPSKI, 1987).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 AMOSTRAGEM

As coletas de amostras foram realizadas durante as Operações Antárticas XXIV (janeiro/2006) e XXV (janeiro/2007). Colunas sedimentares foram obtidas em cinco pontos distintos da Baía do Almirantado, Península Antártica. Os pontos amostrados estão caracterizados na Tabela 1. A Figura 6 apresenta os pontos estudados.

TABELA 1 - PONTOS DE AMOSTRAGENS E SUAS RESPECTIVAS CARACTERÍSTICAS.

Pontos Amostrados	Localização dos Pontos	Características dos Pontos
Arctowski	62°10, 410' S; 058°31, 245' W	Ponto mais afastado da EACF dos cinco testemunhos coletados, sendo localizado na enseada Ezcurra.
Botany Point	62°05, 841' S; 058°20, 320' W	Está localizado na Enseada Martel, no qual a coleta foi feita a 30 metros de profundidade aproximadamente.
Ponta Ulmann	62°05, 530' S; 058°20, 100' W	Situa-se a leste da Península Keller e a coleta foi feita a aproximadamente 20 metros de profundidade.
Steinhouse	62°04, 310' S; 058°22, 104' W	Neste ponto, Martins <i>et al.</i> , (2002) detectaram a presença de indicadores de poluição fecal, sugerindo que o esgoto descartado pela estação poderia estar atingindo este local. Esse local é utilizado para a atracação de navios.
Ferraz	62°05, 033' S, 058°22, 898' W	Este ponto está localizado a aproximadamente 400 m desde a saída de esgotos da estação de pesquisa brasileira, a 40 m de profundidade, onde nota-se o aparecimento de sedimentos finos, favorecendo o acúmulo de matéria orgânica.

A amostragem foi realizada através de mergulho autônomo (com tubos de alumínio e PVC de 30 cm), nos pontos 1 e 3, e a partir de um amostrador do tipo *box core* (com capacidade para coletar um pacote sedimentar de até 50 cm de profundidade), nos pontos 2, 4 e 5.

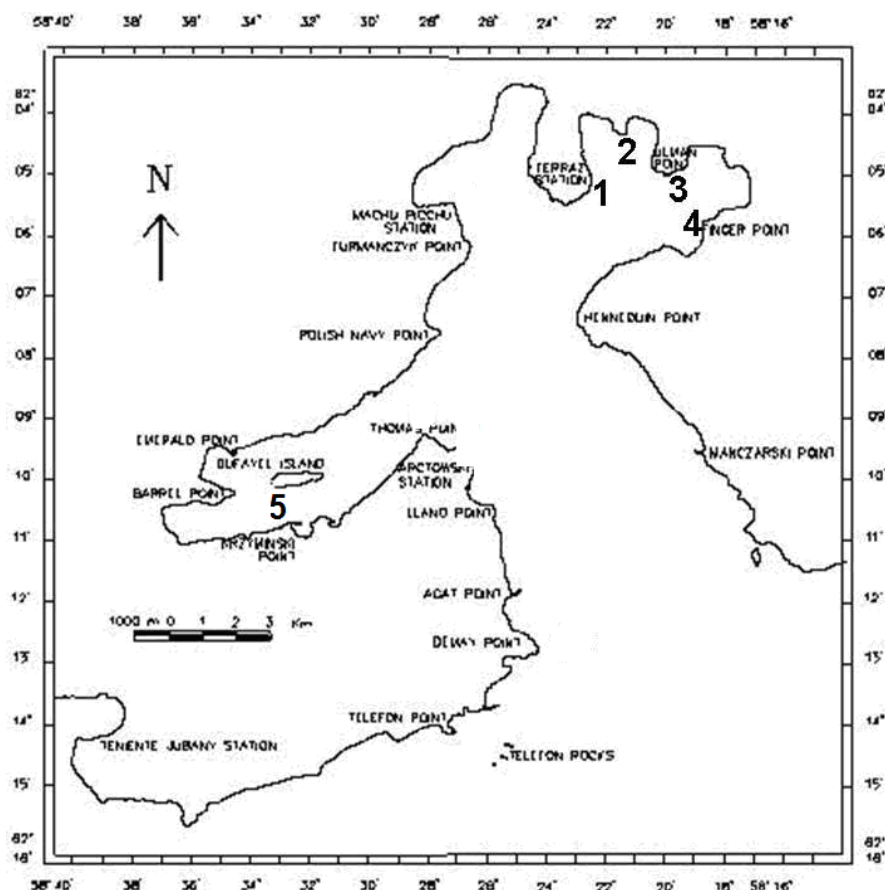


FIGURA 6 – LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS AMOSTRADOS. 1 - FERRAZ, 2 - STEINHOUSE, 3 - PONTA ULMANN, 4 - BOTANY POINT, 5 – ARCTOWSKI.

Tubos de PVC e alumínio foram introduzidos na caixa do amostrador e o sedimento amostrado foi extrusado em seções variáveis entre 1 e 2 cm, de acordo com os diferentes tipos de análises.

Os pontos de amostragem foram escolhidos por motivos logísticos e por peculiaridades das regiões estudadas a fim de possibilitar uma identificação de padrões de poluição ocasionados pela atividade antrópica na área, objetivo principal do projeto no qual este trabalho está inserido.

4.2 DETERMINAÇÃO DOS RADIONUCLÍDEOS ^{137}Cs , $^{210}\text{Pb}_{\text{total}}$ e ^{226}Ra

Para o estudo dos níveis de ^{137}Cs , ^{210}Pb e ^{226}Ra , as amostras de sedimento foram inicialmente secas em estufa a 80 °C por dois dias.

Os sedimentos foram moídos em almofariz de porcelana e acondicionados em recipientes plásticos (2,5 x 6,0 cm) de até 1,5 cm de altura, envolvidos por um filme plástico.

Os níveis de radionuclídeos nas amostras foram determinados por espectrometria gama. De uma forma simplificada, este método de análise radioquímica é baseado na contagem de pulsos de eletricidade produzidos quando partículas do decaimento ou fótons atingem o detector de radiação. Posteriormente, os sinais produzidos no detector são digitalizados e espectros das atividades dos radionuclídeos são gerados.

A espectrometria gama tornou-se uma técnica padrão na espectrometria nuclear pela relativa facilidade na detecção de raios gama, cuja absorção pelo ar é negligenciável em comparação às partículas alfa e beta e, à precisão com que as suas energias podem ser medidas (FIGUEIRA, 2000).

A análise direta de ^{226}Ra por meio da sua radiação gama é muito complexa, pois, embora este emita um raio gama de 186 keV, sua intensidade é baixa, cerca de 4%, além de sofrer a interferência do pico do ^{235}U , de 185,7 keV (TESSLER, 2001). Deste modo, o ^{226}Ra foi determinado, por espectrometria gama, por meio dos seus produtos de decaimento, o ^{214}Bi , com pico de 609 keV. Para esta análise, é necessário que se estabeleça o equilíbrio entre o ^{222}Rn , intermediário na cadeia, e o ^{226}Ra . Assim, um período de aproximadamente 20 dias foi aguardado antes das análises das amostras.

Para a determinação dos níveis de ^{210}Pb , ^{137}Cs e ^{226}Ra , foi utilizado um detector de germânio hiper-puro, tipo GMX 25190P acoplado a um analisador multicanal SPECTRUM MASTERTM, modelo 92X-II, da EG&G/ORTEC, conectados a um microcomputador contendo um programa de aquisição de dados. O equipamento utilizado nas análises pertence ao Laboratório de Espectrometria Gama do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IOUSP), o qual disponibilizou gentilmente uma equipe técnica habilitada para o seu manuseio.

A calibração do detector foi realizada por meio da medida da atividade empregando-se materiais de referência, constituindo-se de sedimentos marinhos da Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA): Code 150A, IAEA-300, IAEA-327 e IAEA-385. A concentração Mínima Detectável (CMD) corresponde à menor atividade que possui um grau de confiança de 95%, e foi igual a $0,56 \text{ Bq kg}^{-1}$. Os resultados obtidos para a eficiência de contagem a partir dos materiais de referência utilizados bem como o cálculo da CMD são detalhados em VENDRAME (2007).

O decaimento de cada amostra foi contado durante 120.000 segundos. Os espectros gerados foram processados no software específico (MAESTRO II *for Windows*) e as atividades do ^{137}Cs , ^{210}Pb e ^{226}Ra foram determinadas pela medição direta do pico gama em 661.66 keV; 47 keV e 609 keV, respectivamente. Foram contados 11 canais dos espectros gerados para as análises efetuadas, número noticiado como ideal para a determinação dos níveis (SAITO *et al.*, 2001). A Figura 7 apresenta um exemplo de espectro gerado na espectrometria gama.

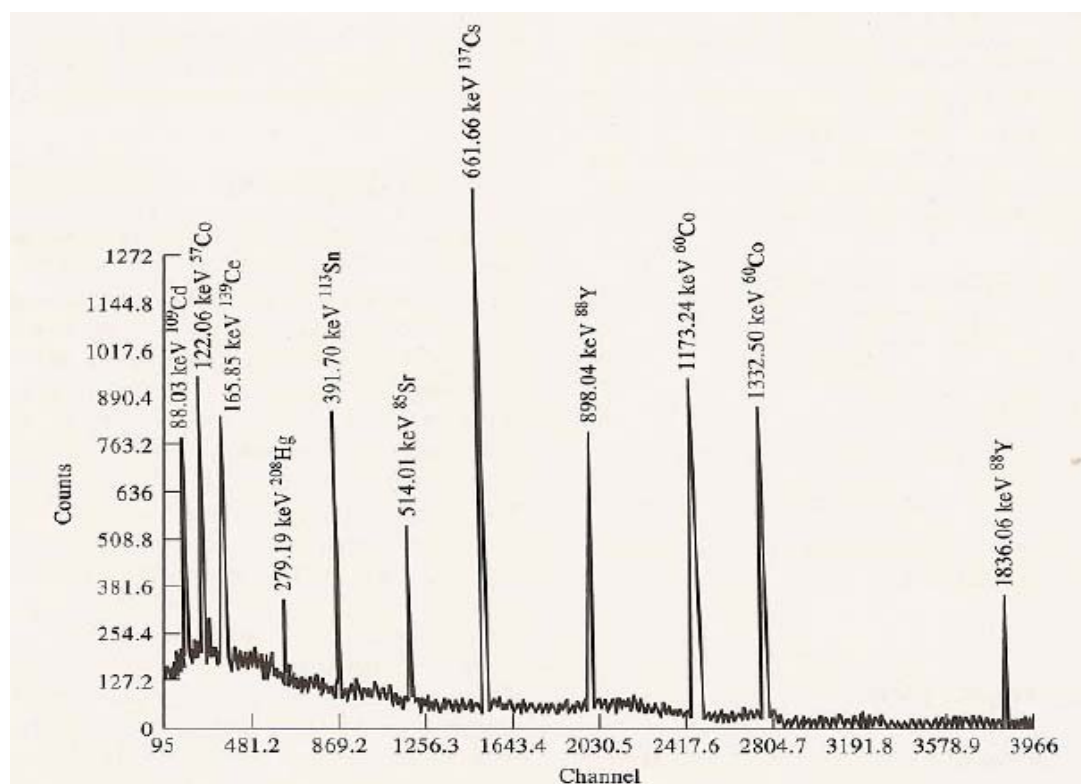


FIGURA 7 - EXEMPLO DE ESPECTRO DE ATIVIDADE DE RADIONUCLÍDEOS GERADO PELA ESPECTROMETRIA GAMA (SKOOG *et al.*, 1998).

Segundo VENDRAME (2007), o método de determinação dos níveis de radionuclídeos por espectrometria gama consiste basicamente na calibração do detector, determinação da eficiência de contagem do detector, contagem cumulativa da radiação de fundo (*background*) e das amostras, em intervalos regulares de tempo, ajuste linear do pico por meio de um polinômio integrado ao software e regressão linear.

A comparação entre as curvas de regressão linear do *background* e da amostra de sedimento permite a determinação de atividade de radionuclídeo do sedimento, descontando atividade de fundo para cada tempo registrado.

Uma discussão detalhada sobre os princípios de análise, calibração, validação do método e cálculos envolvidos até a obtenção da atividade de ^{210}Pb está descrita em TESSLER (2001) e para ^{137}Cs em VENDRAME (2007).

4.3 OBTENÇÃO DAS TAXAS DE SEDIMENTAÇÃO

As taxas de sedimentação para cada ponto amostrado na Baía do Almirantado foram determinadas através dos níveis dos radionuclídeos ^{137}Cs e ^{210}Pb .

Na determinação das taxas de sedimentação obtidas através do elemento ^{210}Pb os modelos de datação utilizados foram o CIC e CRS.

A concentração de ^{210}Pb não-suportado diminui com o aumento da profundidade da coluna sedimentar, devido ao seu decaimento radioativo. O gradiente de tal diminuição fornece a base para a determinação da taxa de sedimentação.

A concentração de ^{210}Pb medido nas amostras é chamada de ^{210}Pb total, pois não há distinção entre chumbo suportado e não-suportado. Por outro lado, a determinação do ^{226}Ra fornece o valor do ^{210}Pb suportado. A subtração entre o ^{210}Pb total e o ^{210}Pb suportado equivale ao valor do ^{210}Pb não-suportado.

Deste modo, os valores utilizados para os modelos CIC e CRS foram de ^{210}Pb suportado, exceto em condições nas quais os mesmos não puderam ser calculados, deste modo, os valores utilizados foram do ^{210}Pb não-suportado.

Através da concentração de ^{210}Pb não-suportado (C) um gráfico de concentração em função da profundidade do sedimento (D) é gerado. Pela extrapolação para a profundidade (D = 0), obtém-se o valor da concentração do ^{210}Pb não-suportado (C_0) na camada superficial.

Pela relação abaixo é possível determinar a taxa de sedimentação (ZUO *et al.*, 1991):

$$S = \lambda \cdot D \cdot \ln \left(\frac{C_0}{C} \right)$$

onde:

- C_0 : atividade específica do ^{210}Pb não-suportado na camada superficial (D = 0).
- C : atividade específica do ^{210}Pb não-suportado na profundidade D (em cm).
- λ : constante de decaimento do ^{210}Pb ($0,311 \text{ ano}^{-1}$).
- S : taxa de sedimentação (em cm.ano^{-1}).

Para o radioisótopo ^{137}Cs , considerando a profundidade na qual o mesmo atinge a maior concentração no hemisfério sul, como o período entre 1963 e 1965, a seguinte relação pode ser utilizada para estimar a taxa de sedimentação (ZUO *et al.*, 1991):

$$S = \frac{D}{T_C - T}$$

onde:

- D : profundidade na qual foi observada maior atividade do radionuclídeo ^{137}Cs (em cm).
- T_C : ano de realização da coleta.
- T : ano correspondente a maior concentração de ^{137}Cs em sedimentos (1963-1965).
- S : taxa de sedimentação (em cm.ano^{-1}).

Geralmente, uma confirmação do pico do ^{137}Cs no período de 1963/1965 pode ser obtida, em alguns casos, quando um pico de atividade menos intenso ocorre na faixa de idade relacionada ao ano de 1954. Essa data pode ser relacionada com a primeira introdução significativa deste radionuclídeo artificial no hemisfério sul (ARGOLLO, 2001; UEDA *et al.*, 2005).

As taxas de sedimentação permitiram a determinação das datas estimadas de deposição do sedimento que compõe cada seção dos perfis sedimentares. Os valores obtidos pelos modelos CIC e CRS foram comparados aos registrados pelo método de ^{137}Cs .

Devido à multiplicidade de fontes de ^{210}Pb e à variabilidade que pode ocorrer ao longo de cada testemunho, já que depende do decaimento de outros radionuclídeos, a exclusão de alguns dados ao longo da sequência sedimentar é utilizada em trabalhos sobre perfis de radionuclídeos para a determinação de taxas de sedimentação. Esta retirada de pontos é necessária para o estabelecimento de modelos factíveis e resultados mais acurados e precisos de taxa de sedimentação. Os critérios de exclusão adotados neste trabalho foram:

(1) Exclusão de todos os dados que não puderam ser calculados, como os dados que apresentaram o *background* maior do que as amostras.

(2) Exclusão de dados que estiverem distantes da reta ou curva obtida pela regressão linear e polinomial de todos os dados gerados (preferencialmente topo e fundo) até atingir $R^2 > 0,75$ (CIC) ou $R^2 > 0,99$ (CRS), ou até que o modelo tenha o número mínimo de 10 pontos, lembrando que o valor de ^{210}Pb tende a diminuir com a profundidade.

(3) Nos modelos com ^{210}Pb (CIC e CRS), o valor médio (constante) utilizado para os cálculos foi sempre a média de pelo menos 3 valores, em profundidades superiores a 10 cm e em secções mais próximas da base dos testemunhos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 NÍVEIS DE RADIONUCLÍDEOS ^{137}Cs , ^{210}Pb e ^{226}Ra

A Tabela 2 apresenta os níveis do radionuclídeo ^{137}Cs obtidos nas cinco colunas sedimentares estudadas na Baía do Almirantado, Península Antártica.

TABELA 2 - NÍVEIS DE ^{137}Cs DETERMINADOS NAS CINCO COLUNAS SEDIMENTARES DA BAÍA DO ALMIRANTADO, PENÍNSULA ANTÁRTICA. DADOS EM Bq.kg^{-1} . (DVP: DESVIO PADRÃO)

Prof. (cm)	Arctowski	Botany Point	Ferraz	Steinhouse	Ponta Ulmann
0,5	$1,77 \pm 0,16$	$2,58 \pm 0,23$	$4,61 \pm 0,41$	$3,71 \pm 0,33$	$3,06 \pm 0,28$
1,5	$1,44 \pm 0,13$	$2,86 \pm 0,26$	$5,86 \pm 0,53$	$3,47 \pm 0,31$	$5,10 \pm 0,46$
2,5	$2,37 \pm 0,21$	$1,86 \pm 0,17$	$7,09 \pm 0,64$	$3,06 \pm 0,27$	$3,79 \pm 0,34$
3,5	$1,66 \pm 0,15$	$2,01 \pm 0,18$	$5,85 \pm 0,53$	$3,43 \pm 0,31$	$2,82 \pm 0,25$
4,5	$1,34 \pm 0,12$	$3,53 \pm 0,32$	$6,02 \pm 0,54$	$5,20 \pm 0,47$	$5,09 \pm 0,46$
5,5	$3,10 \pm 0,28$	$1,93 \pm 0,17$	$5,92 \pm 0,53$	$4,63 \pm 0,42$	$4,73 \pm 0,43$
6,5	$1,93 \pm 0,17$	$1,45 \pm 0,13$	$6,01 \pm 0,54$	$4,55 \pm 0,41$	$3,52 \pm 0,32$
7,5	$2,84 \pm 0,26$	$2,22 \pm 0,20$	$5,05 \pm 0,45$	$4,56 \pm 0,41$	$3,27 \pm 0,29$
8,5	$2,19 \pm 0,20$	$0,84 \pm 0,08$	$4,99 \pm 0,45$	$4,45 \pm 0,40$	$2,50 \pm 0,22$
9,5	$1,39 \pm 0,13$	$2,86 \pm 0,26$	$4,57 \pm 0,41$	$4,13 \pm 0,37$	$2,13 \pm 0,19$
10,5	$1,79 \pm 0,16$	$2,21 \pm 0,20$	$3,53 \pm 0,32$	$5,01 \pm 0,45$	$2,11 \pm 0,19$
11,5	$2,52 \pm 0,23$	$4,52 \pm 0,41$	$2,08 \pm 0,19$	$5,55 \pm 0,50$	$1,75 \pm 0,16$
12,5	$1,82 \pm 0,16$	$2,55 \pm 0,23$	$2,59 \pm 0,23$	$5,09 \pm 0,46$	$1,02 \pm 0,09$
13,5	$2,72 \pm 0,25$	$4,32 \pm 0,39$	$2,26 \pm 0,20$	$6,85 \pm 0,62$	$2,25 \pm 0,20$
14,5	-	$3,57 \pm 0,32$	$1,85 \pm 0,17$	$5,75 \pm 0,52$	$1,82 \pm 0,16$
15,5	-	$3,10 \pm 0,28$	$3,07 \pm 0,28$	$5,06 \pm 0,46$	$1,61 \pm 0,14$
16,5	-	$4,48 \pm 0,40$	$1,43 \pm 0,13$	$4,10 \pm 0,37$	$1,18 \pm 0,11$
17,5	-	$3,41 \pm 0,31$	-	$5,53 \pm 0,50$	$1,55 \pm 0,14$
18,5	-	$3,28 \pm 0,29$	-	$3,84 \pm 0,35$	-
19,5	-	$1,64 \pm 0,15$	-	$2,39 \pm 0,21$	-
Mínimo	1,34	0,84	1,43	2,39	1,02
Máximo	3,10	4,52	7,09	6,85	5,10
* Média	1,84	2,46	3,88	4,25	2,29
* DVP	0,48	0,77	1,56	0,82	0,82
*DVP Relativo(%)	26,3	31,1	40,7	19,4	35,8

* os valores médio, DVP, e DVP Relativo não consideram os três maiores níveis encontrados em cada seqüência sedimentar analisada.

Os níveis de ^{137}Cs nos cinco perfis analisados variaram de 0,84 a 7,09 Bq.kg^{-1} . O testemunho de Botany Point apresentou o menor valor encontrado, sendo que a atividade máxima foi registrada no perfil Ferraz.

As profundidades nas quais foram encontrados os maiores níveis do radionuclídeo ^{137}Cs foram de 5,5 cm para o perfil Arctowski, com valor de 3,10 Bq.kg^{-1} ; 16,5 cm para Botany Point, com 4,48 Bq.kg^{-1} ; 2,5 cm para o testemunho Ferraz, com uma atividade de 7,09 Bq.kg^{-1} ; 13,5 cm, em Steinhouse, apresentando níveis de 6,85 Bq.kg^{-1} ; e 1,5 cm, para o perfil de Ponta Ulmann, com atividade de 5,10 Bq.kg^{-1} .

De um modo geral, mesmo com a exclusão dos valores máximos obtidos em cada seqüência sedimentar, os níveis de ^{137}Cs observados nos testemunhos apresentaram uma oscilação de valores ao longo da profundidade. Foi considerada baixa oscilação, ou seja, valores praticamente constante, quando os testemunhos apresentaram valores de DVPRelativo menores que 20%, fato verificado apenas em Botany Point.

Os níveis encontrados para o radionuclídeo ^{226}Ra nas cinco colunas sedimentares estudadas na Baía do Almirantado, Península Antártica são apresentados na Tabela 3.

TABELA 3 - NÍVEIS DE ^{226}Ra DETERMINADOS NAS CINCO COLUNAS SEDIMENTARES DA BAÍA DO ALMIRANTADO, PENÍNSULA ANTÁRTICA. DADOS EM Bq.kg^{-1} . (DVP: desvio padrão)

Prof (cm)	Arctowski	Botany Point	Ferraz	Steinhouse	Ponta Ulmann
0,5	10,71 ± 0,96	18,56 ± 1,67	17,48 ± 1,57	11,44 ± 1,03	15,36 ± 1,38
1,5	6,77 ± 0,61	19,66 ± 1,77	17,36 ± 1,56	19,62 ± 1,77	16,67 ± 1,50
2,5	8,92 ± 0,80	18,95 ± 1,71	16,51 ± 1,49	16,59 ± 1,49	15,30 ± 1,38
3,5	13,19 ± 1,19	15,69 ± 1,41	21,33 ± 1,92	10,16 ± 0,91	13,84 ± 1,25
4,5	12,72 ± 1,15	27,11 ± 2,44	14,70 ± 1,32	14,92 ± 1,34	12,23 ± 1,10
5,5	9,62 ± 0,87	13,10 ± 1,18	21,25 ± 1,91	16,07 ± 1,45	12,04 ± 1,08
6,5	10,65 ± 0,96	10,34 ± 0,93	18,16 ± 1,63	15,02 ± 1,35	17,08 ± 1,54
7,5	7,16 ± 0,64	14,56 ± 1,31	17,50 ± 1,58	12,32 ± 1,11	11,39 ± 1,03
8,5	9,78 ± 0,88	16,11 ± 1,45	18,62 ± 1,68	19,46 ± 1,75	14,10 ± 1,27
9,5	12,05 ± 1,08	15,47 ± 1,39	17,34 ± 1,56	15,09 ± 1,36	11,82 ± 1,06
10,5	8,45 ± 0,76	11,53 ± 1,04	16,72 ± 1,51	16,64 ± 1,50	11,52 ± 1,04
11,5	11,39 ± 1,02	20,93 ± 1,88	14,15 ± 1,27	15,42 ± 1,39	15,08 ± 1,36
12,5	12,20 ± 1,10	31,07 ± 2,80	17,68 ± 1,59	14,33 ± 1,29	12,39 ± 1,12
13,5	16,98 ± 1,53	24,10 ± 2,17	16,27 ± 1,46	15,27 ± 1,37	15,36 ± 1,38
14,5	-	20,46 ± 1,84	19,69 ± 1,77	17,88 ± 1,61	18,60 ± 1,67
15,5	-	23,17 ± 2,09	16,51 ± 1,49	8,07 ± 0,73	10,99 ± 0,99
16,5	-	17,16 ± 1,54	13,35 ± 1,20	12,89 ± 1,16	15,41 ± 1,39
17,5	-	29,37 ± 2,64	-	13,07 ± 1,18	10,96 ± 0,99
18,5	-	18,59 ± 1,67	-	12,64 ± 1,14	-
19,5	-	14,36 ± 1,29	-	12,22 ± 1,10	-
Mínimo	6,77	10,34	13,35	8,07	10,96
Máximo	17,00	31,07	21,33	19,62	18,60
Média	10,80	19,02	17,33	14,46	13,90
DVP	4,20	5,53	2,10	2,86	2,26
DVP Relativo(%)	39,1	29,1	12,1	19,8	16,2

Os níveis do radioisótopo ^{226}Ra encontrados nos perfis estudados variaram de 6,77 a 31,07 Bq.kg^{-1} . O testemunho Arctowski apresentou o valor mínimo encontrado e o maior nível de ^{226}Ra foi registrado no perfil Botany Point. As maiores atividades foram encontradas na profundidade de 13,5 cm para Arctowski, apresentando 16,98 Bq.kg^{-1} ; 12,5 cm para o perfil Botany Point, com maior valor de 31,07 Bq.kg^{-1} ; 5,5 cm para Ferraz, com 21,25 Bq.kg^{-1} ; 1,5 cm em Steinhouse, com atividade máxima de 19,62 Bq.kg^{-1} ; e 14,5 cm para o testemunho de Ponta Ulmann, com maior valor de 18,60 Bq.kg^{-1} .

Os valores encontrados para o DVP e DVP Relativo foram mais elevados do que 20% para as seqüências sedimentares de Arctowski e Botany Point, caracterizando uma oscilação média nos valores de níveis de ^{226}Ra encontrados, entretanto, os perfis de Ferraz, Steinhouse e Ponta Ulmann, com valores de DVP menores que 20%, foram consideradas baixas as diferenças na distribuição vertical dos níveis de ^{226}Ra em relação a cada testemunho.

Os valores obtidos para o radioisótopo ^{210}Pb nas seqüências sedimentares analisadas da Baía do Almirantado estão apresentados na Tabela 4.

TABELA 4 - NÍVEIS DE ^{210}Pb DETERMINADOS NAS CINCO COLUNAS SEDIMENTARES DA BAÍA DO ALMIRANTADO, PENÍNSULA ANTÁRTICA. DADOS EM Bq.kg^{-1} .

Prof (cm)	Arctowski	Botany Point	Ferraz	Steinhouse	Ponta Ulmann
0,5	20,47 ± 0,76	13,08 ± 0,74	36,90 ± 1,27	20,24 ± 0,77	19,68 ± 0,81
1,5	21,90 ± 0,84	9,89 ± 0,66	29,72 ± 1,07	29,72 ± 0,90	22,88 ± 0,88
2,5	15,44 ± 0,65	8,56 ± 0,54	25,57 ± 1,03	28,34 ± 0,90	16,25 ± 0,71
3,5	18,31 ± 0,74	6,28 ± 0,44	30,61 ± 1,13	20,02 ± 0,70	24,83 ± 0,91
4,5	16,11 ± 0,64	6,18 ± 0,45	22,32 ± 0,93	14,36 ± 0,54	22,12 ± 0,86
5,5	17,72 ± 0,72	5,82 ± 0,39	22,87 ± 0,97	13,71 ± 0,53	24,12 ± 0,91
6,5	16,45 ± 0,67	10,94 ± 0,62	18,04 ± 0,82	12,30 ± 0,49	17,42 ± 0,73
7,5	10,52 ± 0,48	4,73 ± 0,33	18,39 ± 0,82	10,78 ± 0,43	18,98 ± 0,75
8,5	9,12 ± 0,44	6,11 ± 0,43	14,68 ± 0,70	11,01 ± 0,44	10,99 ± 0,53
9,5	9,01 ± 0,42	11,32 ± 0,69	7,90 ± 0,54	10,25 ± 0,40	12,09 ± 0,55
10,5	6,40 ± 0,34	*	6,45 ± 0,46	13,17 ± 0,49	16,34 ± 0,70
11,5	9,41 ± 0,44	*	5,23 ± 0,39	9,87 ± 0,39	10,94 ± 0,51
12,5	8,57 ± 0,40	7,12 ± 0,41	16,26 ± 0,88	11,71 ± 0,45	4,71 ± 0,26
13,5	2,12 ± 0,13	7,98 ± 0,45	10,79 ± 0,64	5,07 ± 0,23	13,45 ± 0,60
14,5	-	6,77 ± 0,38	*	3,99 ± 0,19	8,47 ± 0,44
15,5	-	1,10 ± 0,08	7,44 ± 0,48	12,31 ± 0,45	5,89 ± 0,32
16,5	-	*	8,06 ± 0,52	10,33 ± 0,39	8,11 ± 0,41
17,5	-	2,32 ± 0,16	-	11,71 ± 0,43	14,42 ± 0,63
18,5	-	1,49 ± 0,10	-	10,69 ± 0,42	-
19,5	-	*	-	7,01 ± 0,29	-
Mínimo	2,12	1,10	5,23	3,99	4,71
Máximo	21,90	13,08	36,90	29,72	24,83

* Os níveis não puderam ser calculados, já que o valor de *background* apresentou maior atividade do que nestas amostras.

Os níveis de ^{210}Pb total encontrados nos perfis estudados oscilaram entre 1,10 a 36,90 Bq.kg^{-1} . O perfil de Botany Point apresentou os menores valores sendo que no testemunho de Ferraz, a maior atividade de ^{210}Pb foi registrada.

Os valores máximos dos níveis foram encontrados nas secções próximas ao topo, sendo, 1,5 cm para Arctowski e Steinhouse, com $21,90 \text{ Bq.kg}^{-1}$ e $29,72 \text{ Bq.kg}^{-1}$, respectivamente; 0,5 cm para Botany Point e Ferraz, com valores respectivos de $13,08 \text{ Bq.kg}^{-1}$ e $36,90 \text{ Bq.kg}^{-1}$; e 3,5 cm para o perfil de Ponta Ulmann, com valor máximo de $24,83 \text{ Bq.kg}^{-1}$.

Os valores máximos de atividade do radioisótopo ^{210}Pb estiveram concentrados nas camadas superficiais dos testemunhos, como era esperado, pois na superfície está concentrado o ^{210}Pb total, proveniente de diferentes fontes e que não está em equilíbrio radioativo com o ^{226}Ra .

5.2 PERFIS DE DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DOS RADIONUCLÍDEOS ESTUDADOS

Para uma melhor visualização, os resultados são apresentados em gráficos de atividade dos radioisótopos pela profundidade, para cada coluna sedimentar analisada.

PERFIL ARCTOWSKI

Os perfis dos níveis dos radionuclídeos ^{137}Cs , ^{226}Ra e ^{210}Pb em função da profundidade para o testemunho Arctowski são apresentados na Figura 8.

Os resultados para o radioisótopo ^{137}Cs , neste perfil, oscilaram entre $1,34 \text{ Bq.kg}^{-1}$ e $3,10 \text{ Bq.kg}^{-1}$, com valor médio de $2,06 \text{ Bq.kg}^{-1}$. A atividade mínima foi encontrada na profundidade de 4,5 cm e o pico de concentração foi registrado em 5,5 cm do testemunho. Os níveis apresentaram pouca variação ao longo das profundidades.

Para o ^{226}Ra , os níveis encontrados foram de 6,77 a $17,0 \text{ Bq.kg}^{-1}$, com valor médio de $10,8 \text{ Bq.kg}^{-1}$. O valor mínimo registrado foi obtido na profundidade de 1,5 cm e o máximo em 13,5 cm do testemunho.

As atividades do radionuclídeo ^{210}Pb variaram de 2,12 a $21,9 \text{ Bq.kg}^{-1}$. Na profundidade de 13,5 cm foi registrado o menor nível, sendo que o valor máximo encontrado foi na profundidade de 1,5 cm do perfil.

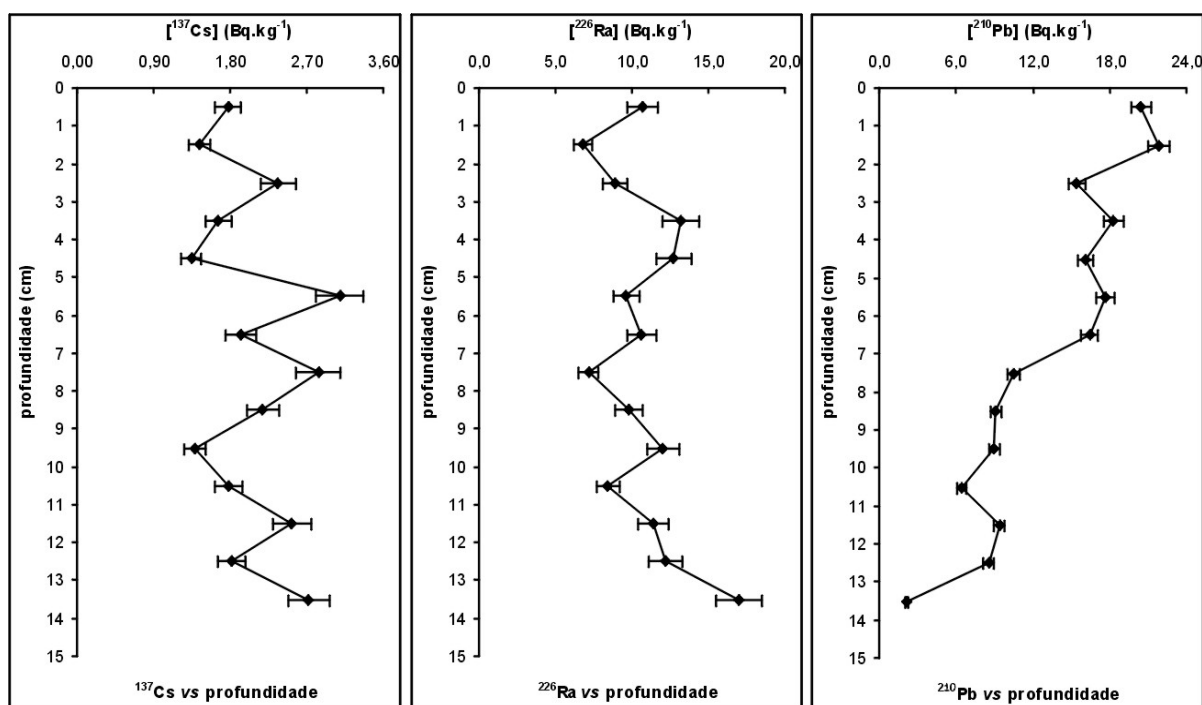


FIGURA 8 - PERFIS DE DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DOS RADIONUCLÍDEOS ^{137}Cs , ^{226}Ra E ^{210}Pb EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE PARA A SEQUÊNCIA SEDIMENTAR DE ARCTOWSKI.

Os níveis de ^{210}Pb são mais elevados na superfície das colunas sedimentares, apresentando um decréscimo nas profundidades maiores. Isso, normalmente, está relacionado com o aporte de ^{222}Rn que desprende do solo, decai a ^{210}Pb na atmosfera e depois chega ao ambiente marinho, depositando-se nas camadas superficiais, concentrando na superfície dos perfis sedimentares.

PERFIL BOTANY POINT

Os perfis dos níveis dos radionuclídeos ^{137}Cs , ^{226}Ra e ^{210}Pb em função da profundidade para o testemunho Botany Point são apresentados na Figura 9.

Os valores de ^{137}Cs encontrados neste perfil oscilaram de 0,84 a 4,52 Bq.kg^{-1} , com valor médio de 2,76 Bq.kg^{-1} . O maior valor foi registrado na profundidade de 11,5 cm do testemunho e a menor concentração foi encontrada em 8,5 cm.

Os níveis de ^{226}Ra variaram de 10,34 a 31,07 Bq.kg^{-1} , apresentando valor médio de 19,02 Bq.kg^{-1} . A menor atividade deste radionuclídeo foi encontrada na profundidade de 6,5 cm e o maior valor foi registrado na seção correspondente a 12,5 cm do perfil.

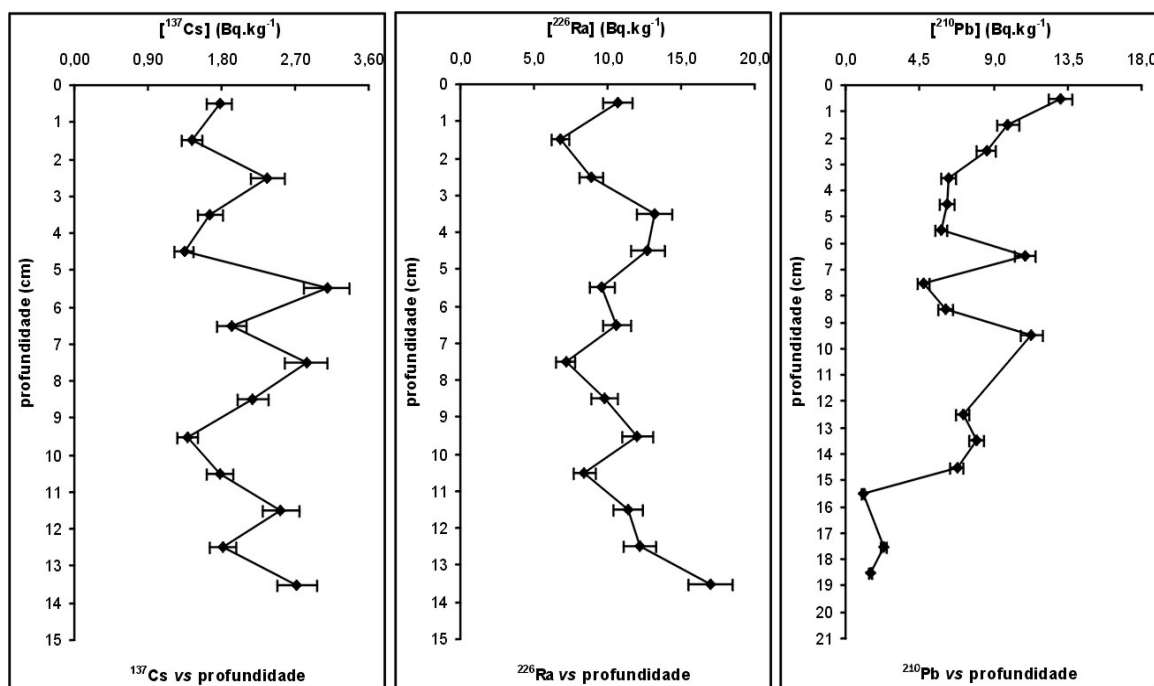


FIGURA 9 – PERFIS DE DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DOS RADIONUCLÍDEOS ^{137}Cs , ^{226}Ra E ^{210}Pb EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE PARA A SEQUÊNCIA SEDIMENTAR DE BOTANY POINT.

As concentrações encontradas para o ^{210}Pb foram de 1,10 a 13,08 Bq.kg⁻¹. A profundidade do perfil que apresentou o menor valor foi a de 15,5 cm enquanto que o maior nível foi registrado em 0,5 cm. Como esperado, os resultados das concentrações de ^{210}Pb apresentaram uma tendência direta de diminuição com o aumento da profundidade.

PERFIL FERRAZ

Os perfis dos níveis dos radionuclídeos ^{137}Cs , ^{226}Ra e ^{210}Pb em função da profundidade para a sequência sedimentar de Ferraz são apresentados na Figura 10.

Os valores de ^{137}Cs encontrados neste testemunho foram de 1,43 a 7,09 Bq.kg⁻¹, apresentando valor médio de 4,28 Bq.kg⁻¹. A concentração mínima registrada foi na seção correspondente a 16,5 cm, assim como a profundidade 2,5 cm apresentou o maior valor encontrado para este testemunho.

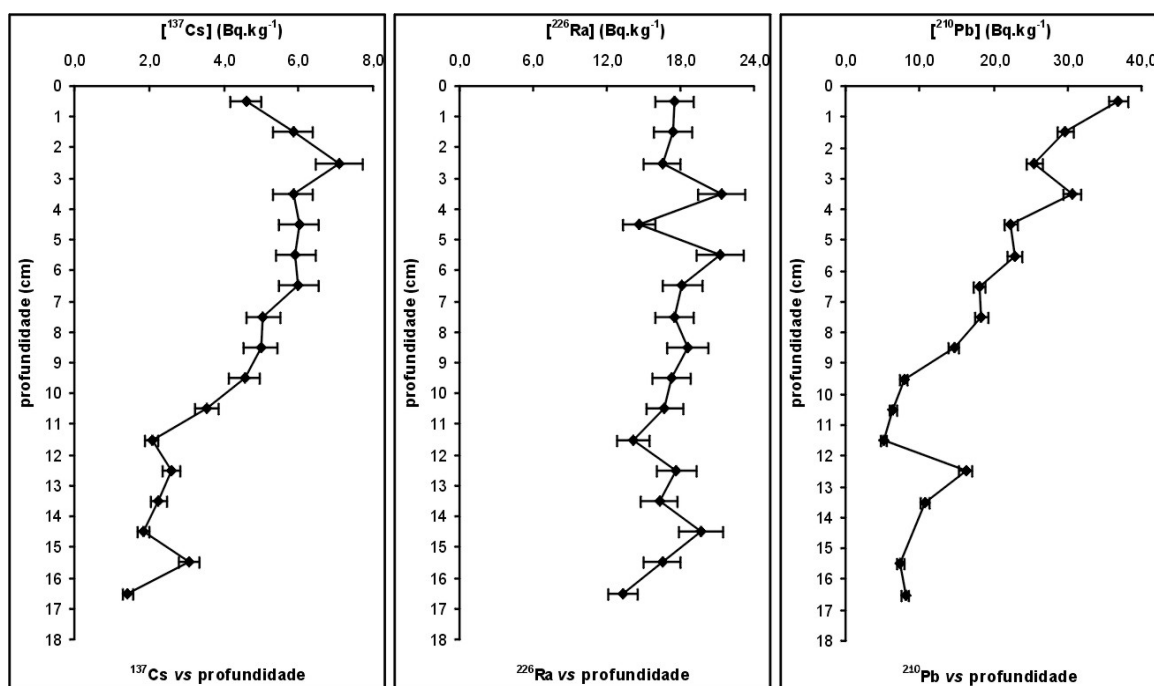


FIGURA 10 – PERFIS DE DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DOS RADIONUCLÍDEOS ^{137}Cs , ^{226}Ra E ^{210}Pb EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE PARA A SEQÜÊNCIA SEDIMENTAR DE FERRAZ.

As concentrações de ^{226}Ra oscilaram de 13,35 a 21,33 Bq.kg⁻¹, com valor médio de 17,33 Bq.kg⁻¹. A maior atividade para este elemento foi registrada na profundidade de 3,5 cm e o menor valor foi encontrado na porção equivalente a 16,5 cm do perfil.

Os níveis de ^{210}Pb determinados neste ponto variaram de 5,3 a 36,90 Bq.kg⁻¹. A menor atividade foi registrada na profundidade de 11,5 cm, e a maior concentração encontrada foi relacionada ao setor inicial do testemunho (0,5 cm), evidenciando um decréscimo dos níveis de ^{210}Pb em relação ao aumento da profundidade.

PERFIL STEINHOUSE

Os perfis dos níveis dos radionuclídeos ^{137}Cs , ^{226}Ra e ^{210}Pb em função da profundidade para a seqüência sedimentar de Steinhouse são apresentados na Figura 11.

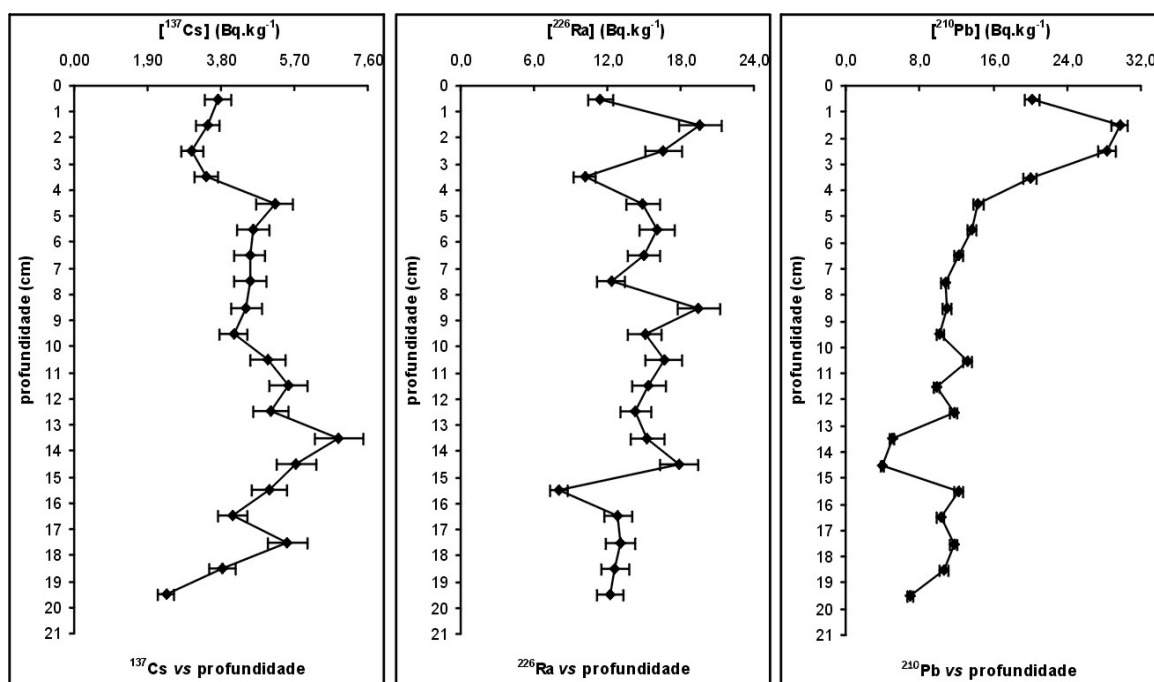


FIGURA 11 – PERFIS DE DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DOS RADIONUCLÍDEOS ^{137}Cs , ^{226}Ra E ^{210}Pb EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE PARA A SEQUÊNCIA SEDIMENTAR DE STEINHOUSE.

As atividades do radionuclídeo ^{137}Cs para este testemunho foram de 2,39 a 6,85 Bq.kg⁻¹, apresentando valor médio de 4,52 Bq.kg⁻¹. A máxima concentração deste elemento foi registrada na profundidade de 13,5 cm, e em 19,5 cm o mínimo valor foi encontrado.

Os valores de ^{226}Ra oscilaram entre 8,07 a 19,62 Bq.kg⁻¹. O valor médio encontrado foi de 14,46 Bq.kg⁻¹. O menor valor foi registrado na profundidade de 15,5 cm, e a maior concentração em 1,5 cm do perfil.

Para o radioisótopo ^{210}Pb os valores foram de 3,99 a 29,72 Bq.kg⁻¹. O menor valor encontrado foi na porção de 13,5 cm e a maior atividade registrada foi na profundidade de 1,5 cm do testemunho, confirmando a tendência de diminuição dos níveis com o aumento da profundidade.

PERFIL PONTA ULMANN

Os perfis dos níveis dos radionuclídeos ^{137}Cs , ^{226}Ra e ^{210}Pb em função da profundidade para a sequência sedimentar de Ponta Ulmann são apresentados na Figura 12.

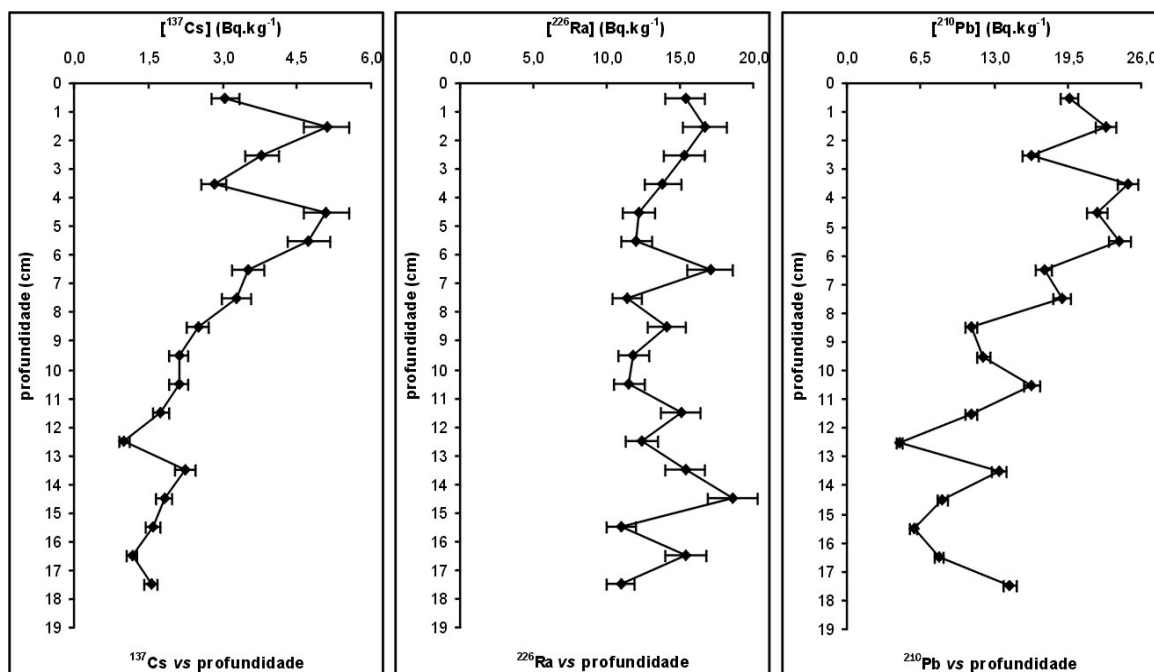


FIGURA 12 – PERFIS DE DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DOS RADIONUCLÍDEOS ¹³⁷Cs, ²²⁶Ra E ²¹⁰Pb EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE PARA A SEQUÊNCIA SEDIMENTAR DE PONTA ULMANN.

Para este testemunho os valores de ¹³⁷Cs encontrados foram de 1,02 a 5,10 Bq.kg⁻¹, e o valor médio de 2,74 Bq.kg⁻¹. A menor concentração foi encontrada na profundidade de 12,5 cm e a maior atividade de ¹³⁷Cs foi registrada na seção de 1,5 cm do perfil.

Os níveis de ²²⁶Ra variaram de 10,96 a 18,60 Bq.kg⁻¹, apresentando valor médio de 13,90 Bq.kg⁻¹. O maior valor foi registrado na profundidade de 14,5 cm, e o menor em 17,5 cm do perfil amostrado.

As atividades determinadas neste testemunho para o ²¹⁰Pb foram de 4,71 a 24,83 Bq.kg⁻¹. O maior nível foi registrado na profundidade de 3,5 cm e o menor valor encontrado na seção referente a 12,5 cm do perfil, ou seja, uma tendência de diminuição com o aumento da profundidade, assim como verificado nos demais testemunhos.

5.3 DISCUSSÃO SOBRE OS NÍVEIS ENCONTRADOS DE ^{137}Cs , ^{226}Ra e ^{210}Pb

De forma geral, os níveis de ^{137}Cs foram de 0,84 a 7,09 Bq.kg^{-1} nos cinco pontos analisados. Para ^{226}Ra os valores determinados foram de 6,77 a 31,07 Bq.kg^{-1} . Para o radioisótopo ^{210}Pb , as atividades oscilaram de 1,10 a 36,90 Bq.kg^{-1} .

Este trabalho, assim como em outros já realizados na Antártica, demonstra que os níveis de radionuclídeos artificiais, como o ^{137}Cs , são encontrados neste ambiente apesar da distância desta região com as fontes de produção destes elementos. Isso pode estar relacionado à proximidade com regiões do Oceano Pacífico onde testes envolvendo artefatos nucleares foram realizados entre as décadas de 50 e 70. Os níveis encontrados evidenciam a relevância do *fallout* global como o principal responsável pela introdução de radionuclídeos artificiais na Antártica.

Outro fator relevante para as análises relacionadas aos níveis de radionuclídeos é a composição granulométrica dos sedimentos locais, que pode determinar a distribuição e mobilidade dos radionuclídeos ao longo dos pontos e perfis analisados.

Dados granulométricos da Baía do Almirantado podem auxiliar no entendimento sobre a distribuição dos níveis de radionuclídeos encontrados neste trabalho nas diferentes regiões estudadas, levando-se em consideração a afinidade destes elementos com determinadas frações granulométricas. Desta forma, dados granulométricos superficiais de alguns pontos da Baía do Almirantado foram utilizados para maior compreensão sobre a distribuição dos níveis de radionuclídeos encontrados na área analisada. Como os dados de padrões granulométricos são relativos a sedimentos superficiais considera-se para esta discussão, que houve pouca ou nenhuma variação nas frações granulométricas ao longo das secções dos testemunhos analisados. Os padrões granulométricos foram determinados por BERBEL (2008) e são apresentados na Tabela 5.

TABELA 5 - PARÂMETROS GRANULOMÉTRICOS EM SEDIMENTOS SUPERFICIAIS DA BAÍA DO ALMIRANTADO. (VERÃO 2004/2005) FONTE : BERBEL (2008)

Testemunho	Sedimento fino (%) Silte + Argila	Sedimento grosso (%) Areia + Grânulos
Ferraz	60,0	40,0
Steinhouse	70,8	29,2
Ulmann/Botany	94,0	6,0
Arctowski	34,4	65,6

A ocorrência da menor média nos níveis de ^{137}Cs no perfil Arctowski (2,06 Bq. kg^{-1}) pode estar relacionada com os valores mais elevados de teor de areia em relação ao silte e argila nesta área, onde BERBEL (2008) encontrou uma composição sedimentar de 65,6% de areia e grânulos. Nesta seqüência sedimentar, foi registrado o menor valor assim como a menor média dos níveis de ^{226}Ra determinados para os cinco pontos em questão. Em geral, o ^{210}Pb apresentou valores mais baixos que a maioria dos pontos estudados, com exceção apenas na comparação com Botany Point.

Em Ferraz, os sedimentos superficiais estudados por BERBEL (2008) apresentaram em cerca de 60% de sedimento fino. Neste ponto foi registrada a maior atividade de ^{137}Cs em relação aos cinco pontos investigados. Para o ^{226}Ra , o segundo maior valor do trabalho foi obtido neste perfil sedimentar, 21,33 Bq. kg^{-1} , sendo inferior apenas em relação a Botany Point. O ^{210}Pb apresentou os maiores valores em comparação aos demais testemunhos analisados.

No ponto de Steinhouse foi registrada a maior média dos níveis de ^{137}Cs obtidos no estudo (4,52 Bq. kg^{-1}). Neste local, os teores de silte e argila alcançaram 70 %, segundo BERBEL (2008). O valor médio encontrado para o ^{226}Ra foi inferior apenas aqueles verificados em Ferraz e Botany Point. Em relação aos níveis do ^{210}Pb , os valores obtidos foram próximos aqueles detectados em Ponta Ulmann e inferiores aos verificados em Ferraz.

Em Botany Point, assim com Ponta Ulmann, os maiores teores de argila e silte (94 %) foram observados (BERBEL, 2008). Neste testemunho foram encontrados os maiores valores de ^{226}Ra do estudo, 31,07 Bq. kg^{-1} , assim como o maior valor médio deste elemento, 19,02 Bq. kg^{-1} . Por outro lado, os níveis de ^{210}Pb foram os menores em comparação aos demais pontos, situação semelhante ao verificado para o ^{137}Cs , cujos níveis foram superiores apenas em relação a Arctowski.

Embora a região de Ponta Ulmann tenha apresentado alto valor de silte e argila (94 %), os níveis de radionuclídeos encontrados neste local foram inferiores aqueles verificados em outras regiões com predomínio de sedimentos menos finos, como Ferraz e Steinhouse. Os níveis de ^{137}Cs e ^{226}Ra foram superiores apenas aqueles verificados em Arctowski, enquanto a atividade ^{210}Pb foi semelhante ao verificado em Steinhouse e inferior a Ferraz.

De um modo geral, pode-se dizer que apenas em relação a Arctowski, a presença de sedimentos mais grossos poderia explicar os menores níveis de radionuclídeos encontrados neste local em relação aos demais pontos..

Resultados encontrados por TURBETINI *et al.*, (1995) para ^{137}Cs , em sedimentos costeiros de Terra Nova Bay, Mar de Ross, ricos em silte, argila e matéria orgânica apresentaram valores mais elevados do que amostras de regiões com predomínio de areia.

NAVAS *et al.*, 2005, encontraram similaridade na distribuição da concentração de radionuclídeos naturais em relação à distribuição de frações finas de sedimento, especialmente argila, em seqüências sedimentares na Península Byers, Antártica.

Nos locais onde houve predomínio de sedimentos mais finos em comparação às frações grosseiras, os maiores níveis de radionuclídeos (^{210}Pb e ^{137}Cs), como verificados em Ferraz e Steinhouse, não ocorreram necessariamente nos locais onde há sedimentos com maior porcentagem de silte + argila (Botany Point e Ponta Ulmann).

Deste modo, torna-se necessário, para o aprimoramento das análises sobre a distribuição dos radionuclídeos em colunas sedimentares, estudos mais aprofundados sobre a granulometria de cada perfil e de cada secção do testemunho.

A Tabela 6 apresenta dados de estudos realizados no ambiente antártico e em outras regiões do mundo, comparados com os valores registrados neste trabalho. Os níveis obtidos para o radioisótopo ^{137}Cs apresentaram-se mais elevados do que os valores encontrados em outras regiões da Antártica.

TABELA 6 – NÍVEIS DE RADIONUCLÍDEOS ENCONTRADOS COMPARADOS COM VALORES DE OUTROS TRABALHOS CONSULTADOS EM Bq.kg⁻¹.

Região Analisada	Autor	¹³⁷Cs	²²⁶Ra	²¹⁰Pb
Península Byers, Antártica	NAVAS <i>et al.</i> , 2005	0,5 - 4,0	3,0-14,0	-
Região próxima à base italiana, Antártica	DESIDERI <i>et al.</i> , 2003	0,14 -1,5	-	-
Baía do Almirantado, Antártica	GODOY <i>et al.</i> , 1998	0,9 - 4,9	11,2 – 16,2	-
Terra Nova Bay, Antártica	JIA <i>et al.</i> , 2000	0,10-1,4	-	-
Terra Nova Bay, Antártica	TURBETINI <i>et al.</i> , 2005	0,1-1,5	-	-
Baía do Almirantado, Antártica	VENDRAME, 2007	0,24 – 3,89	-	-
Baía do Almirantado / dados lacustres, Antártica	LICÍNIO <i>et al.</i> , (2005)	0,14-8,33	0,33-1,18	0,55-1,99
Estuário de Cananéia – Iguape, Brasil	SAITO <i>et al.</i> , (2001)	0,28-6,1	2,3-15,2	14,3 -122,5
Costa Sudeste Brasileira	FIGUEIRA <i>et al.</i> , 2006	0.30 - 1.79	-	-
Firtina Valley, Turquia	KURNAZ <i>et al.</i> , 2007	0,8 – 41,0	15,0–116,0	-
Baía San Simon, Espanha	ÁLVAREZ-IGLESIAS <i>et al.</i> , 2007	11,17	26,32 - 57,48	27,0 -155,0
Mar Azov, próximo ao Mar Negro	MATISHOV <i>et al.</i> , 2002	1 – 100	-	-
Baía Havana, Cuba	GELEN <i>et al.</i> , 2003	0,5 - 3,6	-	-
Região centro-sul, Chile	SCHULLER <i>et al.</i> ,	3,8 - 93,0	5,0 (Média)	7,0 - 60,0
Baía Santander, Espanha	GELEN <i>et al.</i> , 2004	-	40,0 (Média)	10,0 – 160,0
Baía do Almirantado, Antártica	Este trabalho	0,84 -7,09	6,77 - 31,07	1,10 -36,90

Em relação a outras localidades, como por exemplo, o hemisfério norte, que apresenta histórico maior de fontes deste radionuclídeo, os níveis de ¹³⁷Cs registrados na Baía do Almirantado são inferiores.

Os testes nucleares realizados no Oceano Pacífico, como no Atol de Bikini; nas Ilhas Marshall, realizado pelos EUA, o acidente de Chernobyl e as descargas de efluentes radioativos de reatores nucleares de indústrias européias, contribuíram de modo significativo para a poluição radioativa encontradas no Mar Negro, Mar do Norte e Mediterrâneo, ou seja, regiões do hemisfério norte em geral.

Em relação aos níveis de radionuclídeos naturais, suas atividades geralmente estão ligadas às rochas de origens (TURBETINI *et al.*, 1995). Os valores de ^{226}Ra geralmente são constantes nos perfis em relação às profundidades e possíveis variações que ocorreram nos testemunhos estudados podem estar relacionadas ao tipo de sedimento de cada ponto analisado. Os níveis encontrados neste estudo para o radioisótopo ^{226}Ra são maiores do que encontrados em algumas regiões da Antártica, como pode ser observado na Tabela 6.

De um modo geral, em relação às outras localidades comparadas, o ^{226}Ra apresentou valores relativamente menores, o que pode indicar diferenças na formação e composições de solos e sedimento das regiões.

Os níveis de ^{210}Pb encontrados neste trabalho são menores em comparação com outras regiões. Os valores mais elevados podem estar relacionados ao processo de *fallout* global, que também intensifica as concentrações de radionuclídeos naturais existentes no ambiente assim como as características de rochas e solos de cada local, o que determina os níveis dos radioisótopos encontrados.

Perfis anômalos de ^{210}Pb em testemunhos podem estar relacionados à diminuição da taxa de sedimentação ou entrada repentina de sedimentos através de desmoronamento da linha de costa ou de atividades antrópicas. Camadas caracterizadas pela ausência de ^{210}Pb não-suportado (camadas arenosas) têm origem na ocorrência, no passado, de eventos catastróficos, tais como erosão, assim como eventos de origem antrópica.

Entretanto os resultados dos perfis de ^{210}Pb encontrados parecem seguir uma distribuição normal, com valores máximos nas superfícies, apresentando diminuição de concentração com o aumento da profundidade.

5.4 TAXAS DE SEDIMENTAÇÃO OBTIDAS PELOS RADIONUCLÍDEOS ^{210}Pb e ^{137}Cs

A partir dos níveis de ^{210}Pb total e do ^{226}Ra foi possível determinar o ^{210}Pb não-suportado pela subtração de ambos em cada camada dos testemunhos analisados.

Com os dados de ^{210}Pb suportado, foram construídos gráficos da concentração deste em função da profundidade, sendo ajustados por uma reta de regressão linear (CIC) ou polinomial (CRS) e o coeficiente R^2 obtido, o que possibilitou a determinação da taxa de sedimentação para cada coluna sedimentar.

Para a determinação da taxa de sedimentação pelo ^{137}Cs , considerou-se a profundidade na qual o mesmo atinge a maior concentração no hemisfério sul, como o período entre 1963 e 1965. As taxas de sedimentação obtidas pelo ^{210}Pb e ^{137}Cs foram calculadas pelas relações de ZUO *et al.*, (1991), citadas anteriormente.

Os modelos CIC e CRS foram utilizados para a determinação das taxas de sedimentação pelo elemento ^{210}Pb . Os gráficos entre a concentração de ^{210}Pb não-suportado (em logaritmo neperiano - \ln) em função da profundidade obtidos para cada seqüência sedimentar, para cada modelo de taxa de sedimentação, estão apresentados no ANEXO 1.

Nos perfis que apresentaram níveis de ^{210}Pb ao longo da coluna sedimentar com padrão linear (constante) de aporte e decaimento, foi possível aplicar o modelo CIC. Os cálculos das taxas de sedimentação pelo modelo CRS foram determinados através da função polinomial obtida pelos dados dos níveis de ^{210}Pb em função da profundidade.

Deste modo, foi possível calcular as taxas de sedimentação a partir da equação da reta para cada testemunho estudado, pelos métodos propostos. Os valores das taxas determinados pelo ^{210}Pb (CIC e CRS) e ^{137}Cs estão apresentados na Tabela 7.

TABELA 7 – VALORES DE TAXA DE SEDIMENTAÇÃO DOS CINCO PONTOS AMOSTRADOS DA BAÍA DO ALMIRANTADO, DETERMINADAS PELO ^{210}Pb E ^{137}Cs . DADOS EM cm.ano^{-1} .

TESTEMUNHO	CIC	CRS	^{137}Cs
Arctowski	$0,29 \pm 0,03$	$0,20 \pm 0,02$	$0,13 \pm 0,01$
Botany Point	$0,22 \pm 0,03$	$0,29 \pm 0,02$ *	$0,28 \pm 0,03$
Ferraz	$0,18 \pm 0,02$	n.c	$0,37 \pm 0,03$
Steinhouse	$0,46 \pm 0,05$	$0,31 \pm 0,03$	$0,32 \pm 0,03$
Ponta Ulmann	$0,36 \pm 0,04$	$0,27 \pm 0,03$	$0,11 \pm 0,01$

* cálculo utilizando ^{210}Pb total.

n.c: não calculado, por limitação dos dados.

O valor da taxa de sedimentação obtido pelo modelo CIC, no testemunho de Arctowski foi de $0,29 \pm 0,03 \text{ cm.ano}^{-1}$. Para o modelo CRS, a taxa de sedimentação registrada foi de $0,20 \pm 0,02 \text{ cm.ano}^{-1}$. O valor determinado pelo método do ^{137}Cs foi de $0,13 \pm 0,01 \text{ cm.ano}^{-1}$. As taxas de sedimentação determinadas pelo ^{210}Pb apresentaram maior proximidade entre os valores.

O testemunho de Botany Point apresentou taxa de sedimentação, calculada pelo modelo CIC, de $0,22 \pm 0,03 \text{ cm.ano}^{-1}$. Para este perfil não foi possível determinar o valor da taxa pelo método CRS, por insuficiência de pontos necessários para a geração do modelo, no momento dos ajustes dos dados. Deste modo, o modelo CRS foi determinado com os valores de ^{210}Pb não-suportado. A taxa de sedimentação obtida pelo ^{137}Cs foi de $0,28 \pm 0,03 \text{ cm.ano}^{-1}$.

Para o perfil de Ferraz o valor determinado para a taxa de sedimentação, através do modelo CIC foi de $0,18 \pm 0,02 \text{ cm.ano}^{-1}$. Neste testemunho foi registrado o menor valor de taxa de sedimentação em comparação aos cinco pontos estudados na Baía do Almirantado.

O modelo CRS utilizando o ^{210}Pb suportado não pode ser aplicado, pois não houve número suficiente de pontos para a utilização do mesmo. A taxa de sedimentação pelo método do ^{137}Cs foi de $0,37 \pm 0,03 \text{ cm.ano}^{-1}$, relativamente próximo daquele obtido por VENDRAME (2007), analisando colunas sedimentares próximas a Estação Brasileira ($0,395 \pm 0,036 \text{ cm.ano}^{-1}$).

O testemunho de Steinhouse apresentou os maiores valores das taxas de sedimentação entre os perfis analisados neste estudo. Para o modelo CIC foi determinada uma taxa de $0,46 \pm 0,05 \text{ cm.ano}^{-1}$. O valor obtido pelo modelo CRS foi de $0,31 \pm 0,03 \text{ cm.ano}^{-1}$. A taxa de sedimentação registrada pelo ^{137}Cs foi de $0,32 \pm 0,03 \text{ cm.ano}^{-1}$, próxima daquela obtida pelo método CRS.

O perfil de Ponta Ulmann apresentou valores mais elevados de taxa de sedimentação através do ^{210}Pb do que os testemunhos de Arctowski, Botany Point e Ferraz. O valor da taxa de sedimentação determinado pelo modelo CIC foi de $0,36 \pm 0,04 \text{ cm.ano}^{-1}$. Para o modelo CRS o valor encontrado foi de $0,27 \pm 0,03 \text{ cm.ano}^{-1}$. A taxa registrada através do ^{137}Cs foi de $0,11 \pm 0,01 \text{ cm.ano}^{-1}$, revelando certa discrepância em relação aos valores obtidos pelo ^{210}Pb .

De forma geral, o valor médio da taxa de sedimentação nos cinco pontos amostrados da Baía do Almirantado, determinado pelo modelo CIC, foi de $0,30 \text{ cm.ano}^{-1}$. Em relação ao modelo CRS, pelo ^{210}Pb suportado, o valor médio encontrado foi de $0,26 \text{ cm.ano}^{-1}$, em pontos nos quais houve a possibilidade da determinação pelo mesmo. Para o ^{137}Cs a média da taxa de sedimentação da Baía do Almirantado foi de $0,24 \text{ cm.ano}^{-1}$.

FIGUEIRA *et al.*, (2005) encontraram valores de $0,35 \pm 0,07 \text{ cm.ano}^{-1}$ para dados obtidos através de ^{210}Pb e $0,35 \pm 0,02 \text{ cm.ano}^{-1}$ para taxa de sedimentação determinada por ^{137}Cs , em um testemunho coletado próximo a Estação Comandante Ferraz, na Baía do Almirantado, sendo pouco superiores aos encontrados neste estudo.

5.5 DISCUSSÃO - TAXAS DE SEDIMENTAÇÃO

Os valores obtidos para as taxas de sedimentação pelos radionuclídeos ^{210}Pb e ^{137}Cs , geralmente, refletem mecanismos de sedimentação recente, nos quais processos de ressuspensão e ressedimentação, oscilações do ritmo e intensidade dos processos de sedimentação e bioturbação das camadas de topo da superfície atual dos fundos marinhos são muito significativos. (TESSLER, 2001).

Ambientes que apresentam maior teor de sedimentos finos, geralmente são sistemas de menor energia e apresentam processos restritos de mistura vertical. Deste modo, haverá pouco oxigênio nos sedimentos, o que tende a diminuir a quantidade de organismos bentônicos e a conseqüente bioturbação, levando a taxas de sedimentação maiores. Já locais com sedimentos grossos, com areia, apresentam maior fluxo de água e mais bioturbação, o que influencia os processos de deposição locais. (AL-GHADBAN & ABDALI, 1998).

Deste modo, informações sobre granulometria, composição de fauna bentônica, dinâmica geofísica e geoquímica da região estudada são fundamentais para maior compreensão dos processos sedimentares que estão ocorrendo na Baía do Almirantado.

A sedimentação depende das características do local e do material fornecido pelos continentes, sendo de grande importância a composição do sedimento, tamanho das partículas e o teor de matéria orgânica nos sedimentos. Camadas argilosas com maiores concentrações de ^{210}Pb podem corresponder ao ambiente de sedimentação de material particulado em suspensão de origem fluvial, composto de material detrítico e de grande quantidade de matéria orgânica.

As diferentes taxas de sedimentação sugerem processos deposicionais de intensidades diferentes em cada uma das áreas estudadas dentro da Baía do Almirantado.

A sequência sedimentar de Steinhouse apresentou valores mais elevados de taxa de sedimentação nos três métodos utilizados, sugerindo maior dinâmica em relação as demais áreas analisadas e maior aporte de sedimentos. A proximidade com a geleira Steinhouse também pode contribuir para maior aporte de sedimentos neste local.

Os testemunhos de Botany Point e Ponta Ulmann apresentaram resultados próximos, pelo modelo CRS, fato que pode estar relacionado a proximidades entre estas regiões. Este fator é corroborado pela semelhança na composição granulométrica dos sedimentos superficiais verificada por BERBEL (2008).

De modo geral, as taxas de sedimentação obtidas pelo método do ^{137}Cs foram menores do que as determinadas pelos modelos CIC e CRS. Este fato deve ser analisado com ressalva, visto que os resultados através de ^{137}Cs são questionáveis, pois esta metodologia indica uma taxa única da coluna, não caracterizando possíveis variações ao longo das sequências sedimentares, que em muitos casos, podem ser determinadas pelo emprego dos métodos com ^{210}Pb .

5.6 DATAÇÃO PELO PICO DO ^{137}Cs e COMPARAÇÃO COM OS VALORES DE ^{210}Pb

A partir das taxas de sedimentação determinadas para cada região analisada da Baía do Almirantado, foi possível obter estimativas das datas de cada camada das colunas sedimentares.

A data estimada para cada seção dos testemunhos estudados foi calculada através de das taxas de sedimentação obtidas pelo ^{210}Pb (CIC e CRS) e pelo ^{137}Cs , considerando o pico de máxima intensidade como sendo relacionado ao ano de 1963-1965.

As datas obtidas por seção de cada testemunho, bem como para cada um dos métodos foram plotadas em relação ao perfil vertical dos níveis de ^{137}Cs , a fim de identificar qual seria o modelo de obtenção de taxa de sedimentação que gera um resultado mais coerente com base nas informações prévias já conhecidas para a área de estudo.

PERFIL ARCTOWSKI

A Figura 13 apresenta o perfil vertical do ^{137}Cs em relação a data estimada de cada profundidade, obtida a partir da taxa de sedimentação calculada por três diferentes métodos.

Os valores obtidos a partir do modelo CIC indicam a data de 1987 ± 2 para o pico de máxima atividade do ^{137}Cs (5,5 cm) enquanto pelo modelo CRS, a data encontrada foi o ano de 1982 ± 2 . Nota-se que estas datas foram superiores ao período de máximo *fall out* resultante dos testes nucleares realizados nos anos 60 e 70. Ao segundo maior pico de intensidade do ^{137}Cs (7,5 cm), foi atribuída a data de 1980 ± 3 , pelo modelo CIC e 1968 ± 4 pelo modelo CRS.

Outras variações significativas ocorreram em profundidades cuja data estimada foi anterior ao período de início de entrada deste radionuclídeo no ambiente marinho (11,5 cm – modelo CRS) ou superiores ao período de máximo *fall out* (2,5 cm).

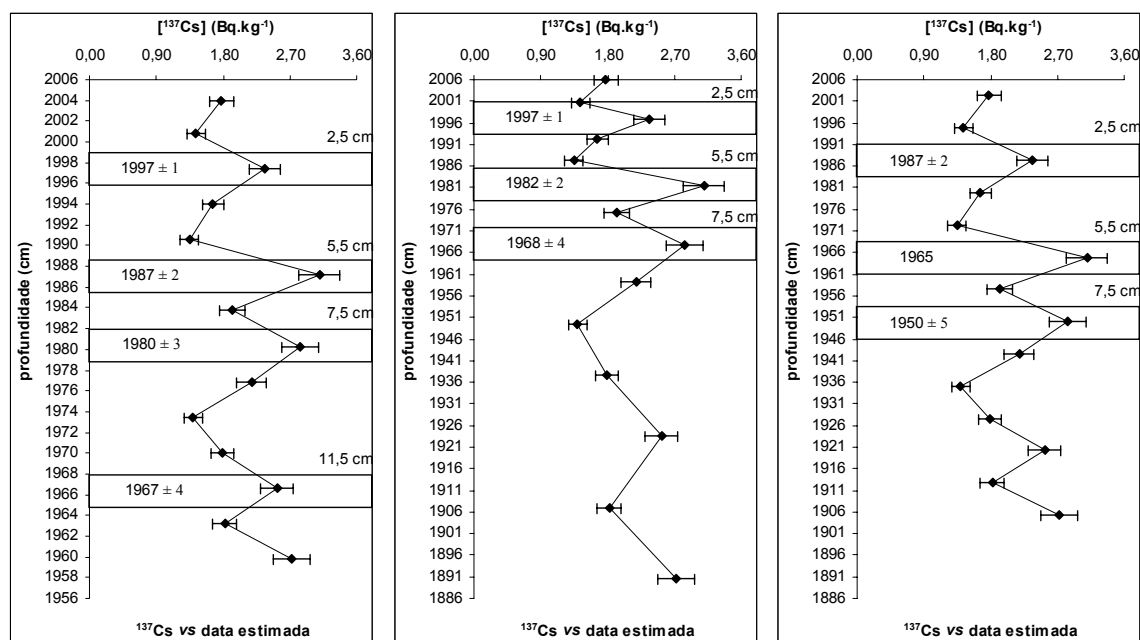


FIGURA 13 – COMPARAÇÃO ENTRE AS ESTIMATIVAS DE IDADES PARA CADA SECÇÃO DO PERFIL DE DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DO ^{137}Cs EM ARCTOWSKI, BAÍA DO ALMIRANTADO, GERADAS PELOS MÉTODOS CIC, CRS E ^{137}Cs RESPECTIVAMENTE. AS CAMADAS EM DESTAQUE MOSTRAM OS MAIORES VALORES DE ^{137}Cs .

Atribuindo-se o ano de 1965 como sendo o ano de maior introdução de ^{137}Cs no hemisfério sul, calculou-se a data estimada para o segundo maior pico de ^{137}Cs obtendo-se a data de 1950 ± 5 . Considerando-se a faixa de erro, este resultado é coerente com ARGOLLO (2001) e UEDA *et al.*, (2005) que associaram ao ano de 1954 como sendo um dos períodos de maior introdução de ^{137}Cs no hemisfério sul.

Desta maneira, o modelo de idade baseado na taxa de sedimentação calculada pelos níveis de ^{137}Cs parece ser mais coerente em relação aqueles obtidos pelo ^{210}Pb .

PERFIL BOTANY POINT

A partir dos resultados de taxa de sedimentação obtidos para o perfil Botany Point pelos métodos CIC, CRS e ^{137}Cs foram geradas estimativas de datação desta seqüência sedimentar, em relação aos níveis de ^{137}Cs . A Figura 14 apresenta os dados obtidos.

Neste testemunho, o pico mais intenso de ^{137}Cs ocorreu em 11,5 cm. Através do modelo CIC, a esta camada foi atribuída a data de 1953 ± 7 , enquanto para o modelo CRS, a data obtida foi de 1963 ± 3 .

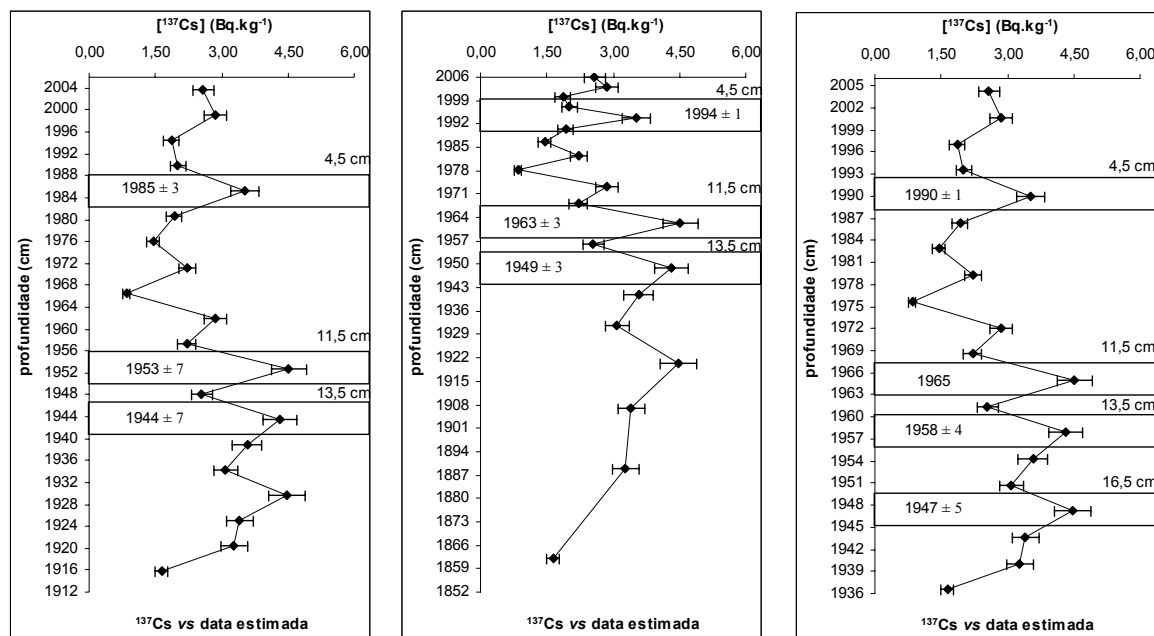


FIGURA 14 – COMPARAÇÃO ENTRE AS ESTIMATIVAS DE IDADES PARA CADA SECÇÃO DO PERFIL DE DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DO ^{137}Cs EM BOTANY POINT, BAÍA DO ALMIRANTADO, GERADAS PELOS MÉTODOS CIC, CRS E ^{137}Cs , RESPECTIVAMENTE. AS CAMADAS EM DESTAQUE MOSTRAM OS MAIORES VALORES DE ^{137}Cs .

Em relação ao segundo pico de máxima atividade do ^{137}Cs (13,5 cm), o modelo CIC forneceu uma data relacionada ao ano de 1944 ± 7 enquanto para o modelo CRS, a data foi de 1949 ± 3 . Em ambos os casos, estas estimativas estiveram abaixo da data esperada, relacionada a 1954, quando houve um *fall out* significativo de ^{137}Cs no hemisfério sul.

Atribuindo-se o ano de 1965 como sendo o ano de maior introdução de ^{137}Cs no hemisfério sul, calculou-se a data estimada para o segundo maior pico de ^{137}Cs obtendo-se a data de 1958 ± 4 , coerente com a data esperada para este pico.

A partir da comparação entre os resultados obtidos nos três modelos, pode-se dizer que os modelos CRS e do ^{137}Cs apresentaram-se consistentes para datar a coluna sedimentar obtida em Botany Point, o que de certa forma era esperado graças aos valores próximos de taxa de sedimentação obtidos através dos dois métodos ($0,29 \pm 0,02$ e $0,28 \pm 0,03$ cm.ano⁻¹, respectivamente).

PERFIL FERRAZ

A partir dos resultados obtidos para o perfil Ferraz pelos métodos CIC e ^{137}Cs foram geradas estimativas de datação da distribuição vertical do ^{137}Cs nesta seqüência sedimentar. A Figura 15 apresenta estes dados.

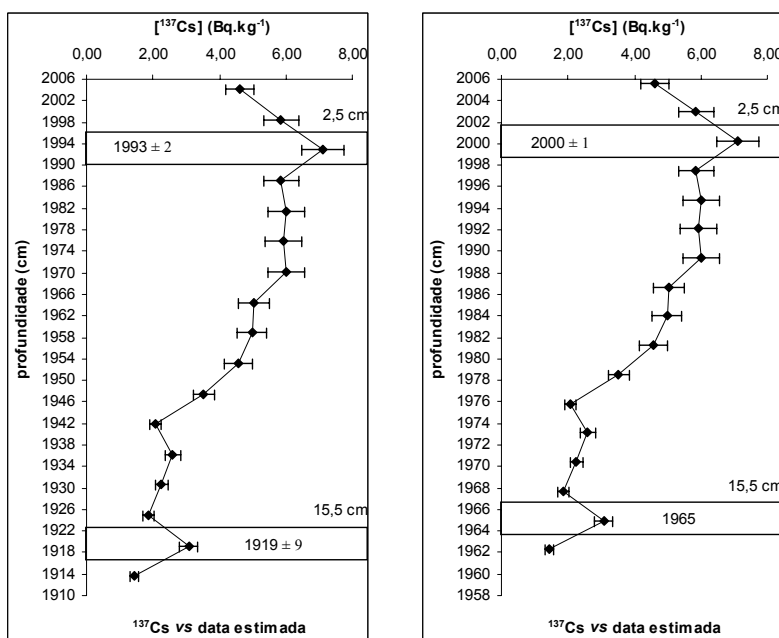


FIGURA 15 – COMPARAÇÃO ENTRE AS ESTIMATIVAS DE IDADES PARA CADA SECÇÃO DO PERFIL DE DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DO ^{137}Cs EM FERRAZ, BAÍA DO ALMIRANTADO, GERADAS PELOS MÉTODOS CIC E ^{137}Cs , RESPECTIVAMENTE. AS CAMADAS EM DESTAQUE MOSTRAM OS MAIORES VALORES DE ^{137}Cs .

Nesta coluna sedimentar, as estimativas de datação obtidas pelo modelo CIC foram 1993 ± 2 , para a concentração de $7,09 \text{ Bq.kg}^{-1}$ de ^{137}Cs (2,5 cm), resultado muito acima de datas relacionadas aos eventos de máxima introdução de radionuclídeos artificiais no ambiente marinho. Entre 16,5 e 11,5 cm, foi possível notar uma variação na atividade do ^{137}Cs em 15,5 cm, o que equivaleria ao ano de 1919 ± 9 , ou seja, uma idade muito inferior aos primeiros registros de introdução deste radionuclídeo no ambiente.

Considerando o pico de ^{137}Cs na profundidade de 15,5 cm como o ano de 1965, a data obtida para a máxima concentração foi de 2000 ± 1 , para a secção referente a 2,5 cm do testemunho.

VENDRAME (2007) encontrou o valor de $0,40 \pm 0,04 \text{ cm.ano}^{-1}$ para taxa de sedimentação determinada por ^{137}Cs , em um testemunho coletado na mesma área em que o perfil Ferraz foi obtido, sendo que o pico de máxima intensidade para este radionuclídeo foi verificado na seção de 15 cm.

Desta maneira, é possível dizer que o método do ^{137}Cs apresentou um valor de taxa de sedimentação mais coerente do que o método do ^{210}Pb (CIC), quando se estabelece que o pico de máxima intensidade do ^{137}Cs ocorreu nas seções mais próximas da base.

As estimativas refletem as diferenças encontradas nos valores de taxa de sedimentação determinados pelos dois modelos sendo o valor determinado pelo CIC de $0,18 \pm 0,02 \text{ cm.ano}^{-1}$ e pelo ^{137}Cs $0,37 \pm 0,03 \text{ cm.ano}^{-1}$, sendo este último, muito próximo daquele determinado em estudos prévios (VENDRAME, 2007).

Vale ressaltar que este perfil em particular, apresentou uma distribuição bastante irregular quanto aos níveis de ^{137}Cs , sendo os maiores valores encontrados próximo a superfície e constantes por um extenso intervalo de profundidade (6,5 cm). Neste caso, a determinação granulométrica de cada seção é essencial para a obtenção de um resultado mais preciso.

PERFIL STEINHOUSE

A partir dos resultados das taxas de sedimentação obtidos para a sequência sedimentar de Steinhouse pelos métodos CIC, CRS e ^{137}Cs foram geradas estimativas de datação desta sequência sedimentar. A Figura 16 apresenta estes dados.

Os resultados das estimativas de datações obtidas para o testemunho de Steinhouse determinadas pelo método CIC foram de 1997 ± 1 referente à concentração $5,20 \text{ Bq.kg}^{-1}$ (4,5 cm) e 1978 ± 3 para $6,85 \text{ Bq.kg}^{-1}$ (13,5 cm), valores de datação acima do esperado.

Já para a profundidade de 17,5 cm, secção que apresentou a segunda maior concentração de ^{137}Cs , $5,53 \text{ Bq.kg}^{-1}$, a data estimada foi de 1969 ± 4 , valor que pode ser relacionado ao *fall out* máximo.

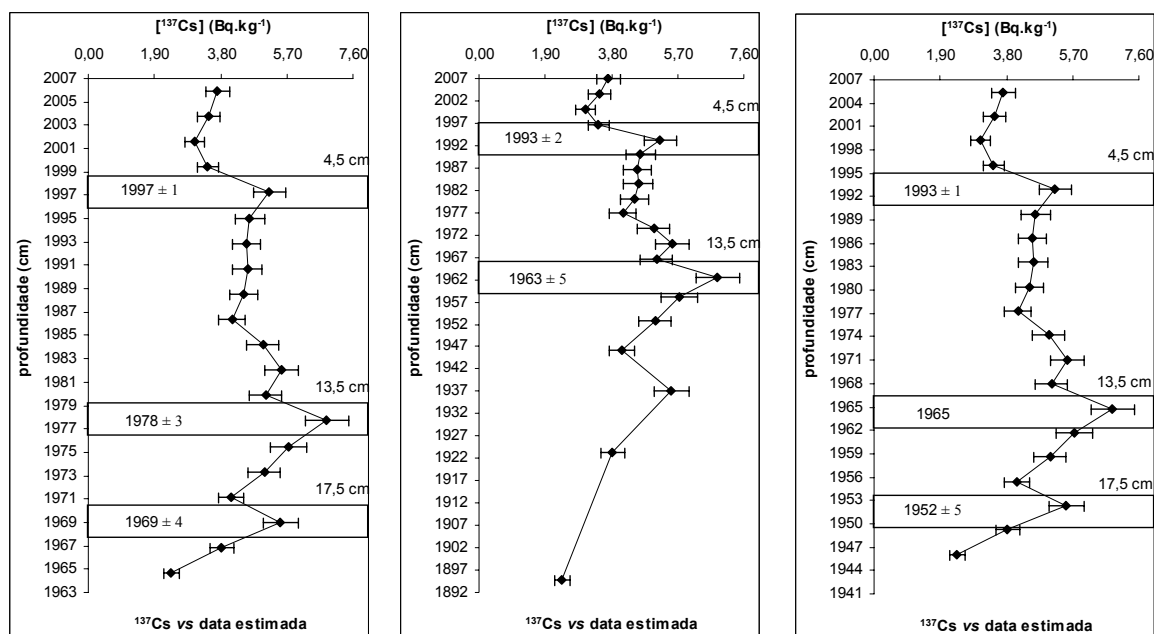


FIGURA 16 – COMPARAÇÃO ENTRE AS ESTIMATIVAS DE IDADES PARA CADA SECÇÃO DO PERFIL DE DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DO ^{137}Cs EM STEINHOUSE, BAÍA DO ALMIRANTADO, GERADAS PELOS MÉTODOS CIC E ^{137}Cs , RESPECTIVAMENTE. AS CAMADAS EM DESTAQUE MOSTRAM OS MAIORES VALORES DE ^{137}Cs .

Pelo modelo CRS a datação estimada foi de 1993 ± 2 para a profundidade de 4,5 cm, 1963 ± 5 para a secção de 13,5 cm do perfil e 1937 ± 8 para a profundidade de 17,5 cm. Este modelo apresentou valor coerente apenas em relação à estimativa da máxima atividade do ^{137}Cs nesta coluna sedimentar, relacionada ao *fall out* de 1965.

As datações encontradas para o pico de ^{137}Cs , considerando a máxima atividade deste elemento registrado no perfil com ano de 1965, foram de 1993 ± 1 para a secção 4,5 cm e 1952 ± 5 para a profundidade de 17,5 cm.

Para esta coluna sedimentar o modelo obtido através do ^{137}Cs apresenta-se mais coerente visto que determinou estimativas de datações que podem ser associadas aos primeiros eventos de introdução de radionuclídeos artificiais referentes à década de 1950, bem como confirma a ocorrência dos maiores níveis de ^{137}Cs ao máximo *fall out* da década de 60. Neste perfil, o modelo CRS também apresentou valores satisfatórios quanto à previsão das estimativas de data de introdução dos maiores níveis de ^{137}Cs .

PERFIL PONTA ULMANN

A partir dos resultados das taxas de sedimentação obtidos para a sequência sedimentar de Ponta Ulmann pelos métodos CIC, CRS e ^{137}Cs foram geradas estimativas de datação. A Figura 17 apresenta estes dados.

As estimativas geradas para o testemunho de Ponta Ulmann pelo modelo CIC foram de 2002 ± 1 para a secção do perfil referente a 1,5 cm e 1992 ± 2 para profundidade de 5,5 cm. Esses valores são mais elevados do que os esperados, visto que não caracterizam eventos de introdução registrados. Entretanto, para o pico do ^{137}Cs mais profundo, localizado na secção 13,5 cm, este modelo apresentou uma estimativa de idade coerente, 1969 ± 4 , referente ao máximo *fall out* radioativo, embora nesta profundidade, o nível de ^{137}Cs tenha sido bem inferior aquele encontrado nas camadas superficiais.

Certa proximidade entre as datações obtidas pelos modelos CIC e CRS pode ser observada nas secções iniciais do testemunho, entretanto, os valores determinados pelo CRS na profundidade 13,5 cm são inferiores, e podem ser relacionados com os primeiros eventos históricos de introdução de radioisótopos artificiais nos ambientes.

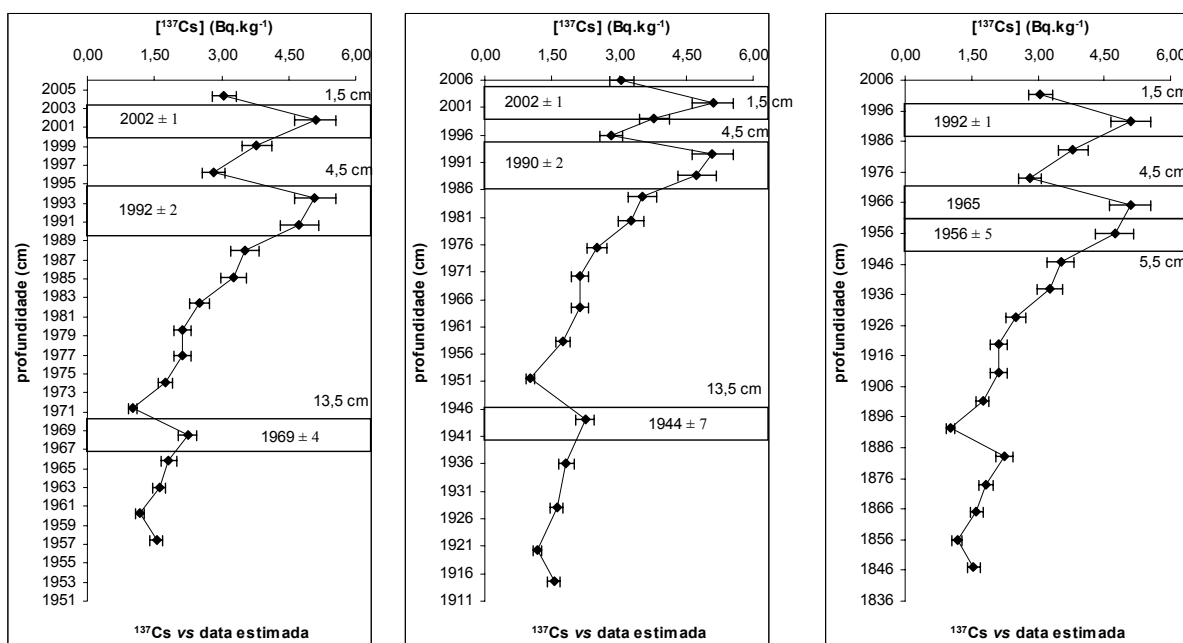


FIGURA 17 – COMPARAÇÃO ENTRE AS ESTIMATIVAS DE IDADES PARA CADA SECÇÃO DO PERFIL DE DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DO ^{137}Cs EM PONTA ULMANN, BAÍA DO ALMIRANTADO, GERADAS PELOS MÉTODOS CIC E ^{137}Cs , RESPECTIVAMENTE. AS CAMADAS EM DESTAQUE MOSTRAM OS MAIORES VALORES DE ^{137}Cs .

Para a seqüência sedimentar de Ponta Ulmann, o modelo de idade que aparenta maior coerência parecer ser aquele o obtido pelos níveis de ^{137}Cs , visto que apresentou datas que podem ser relacionadas com os eventos que ocorreram nas décadas de 1950 e 1960, que disponibilizaram elementos radioativos artificiais ao ambiente. Adotando o ano de 1965 para a seção de 4,5 cm, um segundo pico de máxima intensidade ocorre em 5,5 cm, que corresponde a 1956 ± 6 , corroborando a hipótese de que o pico de 4,5 cm está associado ao máximo *fall out* da década de 60.

Entretanto, uma interpretação cuidadosa das estimativas de datação obtidas pelos métodos de ^{137}Cs e ^{210}Pb deve considerar possíveis variações que ocorrerem na distribuição e mobilidade vertical dos radionuclídeos, que podem gerar estimativas bastante distantes da idade real correspondente a cada seção de uma seqüência sedimentar. Vale notar que um valor elevado de ^{137}Cs ocorreu em 1,5 cm, e que supostamente poderia ser associado ao período de máximo *fall out*. Neste caso, a análise granulométrica é essencial para o esclarecimento destas questões.

As discrepâncias encontradas entre as estimativas de datações para os pontos analisados podem estar relacionadas com os mesmos fatores já descritos na discussão das taxas de sedimentação, sendo responsáveis pelas variações nos níveis dos radionuclídeos para os pontos estudados na Baía do Almirantado.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As escassas informações sobre radionuclídeos naturais e artificiais da região antártica revelam a necessidade de trabalhos descritivos, que colaborem para determinar os níveis destes elementos neste ambiente e auxiliem as investigações sobre a Antártica, proporcionando base para caracterizações dos sistemas locais, assim como a importante questão de monitoramento ambiental. A magnitude destas pesquisas também está relacionada à possibilidade de interpretar os padrões de poluição radioativa global, assim como fornecer informações sobre os processos de circulação atmosférica e oceânica.

Os níveis de radionuclídeos naturais encontrados neste trabalho são importantes registros para a região antártica, auxiliando no entendimento de suas respectivas fontes e aportes. Os dados determinados de ^{137}Cs intensificam a idéia de que no continente antártico, apesar de não haver atividades noticiadas sobre a liberação destes elementos, níveis de radionuclídeos artificiais são encontrados na região, assim como observado por outros autores. Deste modo, estes níveis de ^{137}Cs sugerem que o *fall out* radioativo global é uma das principais vias de entrada de radionuclídeos artificiais neste ambiente.

Os níveis dos radionuclídeos obtidos nesta pesquisa podem ser utilizados como dados de referência para possíveis monitoramentos radioativos em ocasiões futuras. Além de contribuir para o entendimento da distribuição, mobilidade, transferência e acumulação de radioisótopos no ambiente antártico.

As taxas de sedimentação encontradas para a Baía do Almirantado devem ser analisadas apenas como um indicativo do grau de intensidade do processo deposicional para cada área estudada, pois é necessário o aprimoramento dos resultados. Para avaliar qual modelo geocronológico demonstra maior coerência são necessárias pesquisas mais aperfeiçoadas que determinem fatores que possam auxiliar a normalização das colunas sedimentares, e assim, produzam estimativas mais seguras e acuradas.

Deve-se considerar que a geocronologia não é uma ciência exata. Existem várias fontes de variabilidade que podem alterar a qualidade, precisão e acurácia dos resultados obtidos. Há necessidade de parcimônia na interpretação dos dados, levando-se em consideração todos os fatores que efetivamente colaboram para a variação das estimativas obtidas.

A variabilidade observada pode estar relacionada com o processo de formação de uma seqüência sedimentar que envolve fatores como bioturbação e eventos estocásticos, que mudam os padrões de aportes e fontes de sedimentos, alterando características naturais dos ambientes em questão (que também podem estar relacionados às atividades antrópicas), assim como ligada à sensibilidade do detector gama ou à eficiência na contagem dos dados. Esses fatores de variabilidade devem ser identificados, dentro do possível, e considerados em estudos como este, para o maior detalhamento dos reais processos que ocorrem nos ambientes assim como para o aprimoramento das respectivas estimativas geocronológicas.

O refinamento dos resultados deve ser efetuado através de normalizadores das colunas sedimentares analisadas. A determinação dos padrões granulométricos das regiões e pontos estudados é uma importante informação, que auxilia nas interpretações. Outro fator interessante é o registro visual dos testemunhos amostrados, logo após a coleta, para auxiliar na identificação de possíveis perturbações das seqüências sedimentares, as quais dificultam intensamente análises detalhadas da formação de taxas de sedimentação dos locais pesquisados, assim como a própria distribuição e mobilidade dos níveis dos radionuclídeos.

Deste modo, considera-se de importante relevância o detalhamento sobre granulometria, porosidade, teor de matéria orgânica assim como outros fatores que possam colaborar para o entendimento da distribuição dos radionuclídeos e dos padrões sedimentares da região da Baía do Almirantado.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AARKROG, A. Radioactivity in polar regions – Main sources. **J Environ Radioact.** v. 25, p. 21-35, 1994.

AL-GHADBAN, A.N.; ABDALI, F. Sedimentation rate and bioturbation in the Arabian Gulf. **Environment International**, v.24, p. 23-31, 1998.

ÁLVAREZ-IGLESIAS, P.; QUINTANA,B.; RUBIO,B.; PÉREZ-ARLUCEA, M. Sedimentation rates and trace metal input history in intertidal sediments from San Simón Bay (Ría de Vigo, NW Spain) derived from ^{210}Pb and ^{137}Cs chronology. **Journal of Environmental Radioactivity** v.98, p. 229-250, 2007.

ANJOS, R.M; OKUNO, E.; GOMES, P. R. S.; VEIGA, R; ESTELLITA, L.; MANGIA, L.; UZÊDA, D.; SOARES, T.; FACURE, A.; BRAGE, J. A. P.; MOSQUERA,B.; CARVALHO,C.; SANTOS, A. M. A. Radioecology teaching: evaluation of the background radiation levels from areas with high concentrations of radionuclides in soil. **European Journal of Physics**, v. 25, p.133-144, 2004.

ARGOLLO, R. M. **Cronologias de sedimentação recente e de deposição de metais pesados na baía de Todos os Santos usando Pb-210 e Cs-137.** Tese (Doutorado em Ciências Geofísicas). Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia. Universidade Federal da Bahia, Salvador, 119 p, 2001

ARIGONY, J.; SIMÕES, J. C.; BREMER, U. F.; DANI, N. Perspectivas para o gerenciamento ambiental da baía de Almirantado, Ilha Rei George, Antártica. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 15, p. 91-99, 2002.

BERBEL, G. B. B. **Estudo do fósforo sedimentar e de suas especiações químicas em dois sistemas costeiros e plataforma continental sudeste (Brasil) e Baía do Almirantado (região antártica) considerando suas relações biogeoquímicas.** Tese (Doutorado em Oceanografia Química e Geológica) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

CARROLL, J. & LERCHE, I. The Radioactivity in the Environment : **Sedimentary Processes: Quantification Using Radionuclides**, v. 5. Ed. Elsevier. p. 272, 2003.

CRIPPS, G. C. Natural and anthropogenic hydrocarbons in the Antarctic marine environment. **Mar. Pollut. Bull.** v. 25, p.266-273, 1992.

CUNDY, A. B. & CROUDACE, I. W. Physical and chemical association of radionuclides and trace metals in estuarine sediments: an exemple from Poole Harbour. **Journal Environmental Radioactivity**, v. 29, p. 191-211, 1995.

DESIDERI, D.; GIULIANI, S.; TESTA, C.; TRIULZI, C. ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$ and ^{241}Am levels in terrestrial and marine ecosystems around the Italian base in Antarctica. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 258, p. 221-225, 2003.

FIGUEIRA, R. C. L.; MARTINS, C. C.; MONTONE, R. C.; FIGUEIREDO, A. M. G.; TESSLER, M. G.; MAHIQUES M. M.; CUNHA, I. I. L. ^{210}Pb , ^{226}Ra and ^{137}Cs activities and sedimentation rates in Admiralty Bay, Antarctic Peninsula. **1st International Nuclear Chemistry Congress, Kusadasi**, p. 289-290, 2005.

FIGUEIRA, R.C.L. & CUNHA, I.I.L. A contaminação dos oceanos por radionuclídeos antropogênicos. **Química Nova**, 1997.

FIGUEIRA, R.C.L. **Inventário de radionuclídeos artificiais em água do mar e sedimentos da costa sul do Brasil**. Tese (Doutorado em Química Nuclear). Instituto de Pesquisas Nucleares, São Paulo, 2000.

FIGUEIRA, R.C.L.; TESSLER, M.G.; MAHIQUES, M.M.; CUNHA, I.I.L. Distribution of ^{137}Cs , ^{238}Pu and $^{239+240}\text{Pu}$ in sediments of the southeastern Brazilian shelf-SW Atlantic margin. **Sci Total Environ.** v.357, p.146-159, 2006.

GELEN, A.; DÍAZ, O.; SIMÓN, M.J.; HERRERA, E.; SOTO, J.; GÓMEZ, J., RÓDENAS, C.; BELTRÁN, J.; RAMÍREZ, M. ^{210}Pb dating of sediments from Havana Bay. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 256, p. 561-564, 2003

GELEN, J.; SOTO, J.; GÓMEZ, J.; DÍAZ, O. Sediment dating of Santander Bay, Spain. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 261, p. 437-441, 2004.

GODOY, J.M.; SCHUCH, L.A.; NORDEMANN, D.J.R.; REIS, V.R.G.; RAMALHO, M.; RECIO, J.C.; BRITO, R.R.A.; OLECH, M.A. ^{137}Cs , $^{226,228}\text{Ra}$, ^{210}Pb and ^{40}K Concentrations in Antarctic Soil, Sediment and Selected Moss and Lichen Samples. **J Environ Radioact.** v. 41, p. 33-45, 1998.

JIA, G., TRIULZI, C., MARZANO, F.N.; BELLI, M.; VAGHI, M. The fate of plutonium, ^{241}Am , ^{90}Sr and ^{137}Cs in the Antarctic ecosystem. **Antarct Sci**, v.12,p. 141-8, 2002.

KURNAZ, A.; KUCUKOMEROGLU, B.; KESER, R.; OKUMUSOGLU, N.T.; KORKMAZ, F.; KARAHAN, G.; ÇEVİK, U. Determination of radioactivity levels and hazards of soil and sediment samples in Firtina Valley (Rize, Turkey). **Applied Radiation and Isotopes**, v. 65 p. 1281–1289, 2007.

LICÍNIO, M.V.; SILVA, H.E.; PATCHINEELAN, S.R. Estimativa da taxa de sedimentação recente em lagos periglaciais na Baía do Almirantado, Ilha Rei George, Península Antártica. 2005. **XIII Simpósio de Pesquisa Antártica**, São Paulo, 2005.

LIMA, A. L. C. **Geocronologia de hidrocarbonetos poliaromáticos (PAHs). Estudo de caso: Baía de Guanabara**. Dissertação (Mestrado em Química). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ. 106 p, 1996.

LIPSKI, M. Variations of physical conditions, nutrients and chlorophyll a contents in Admiralty Bay (King George, South Shetlands Islands, 1979). **Polish Polar Research**, v. 8, p. 307 -332. 1987.

LIVINGSTON, H.D.& POVINEC, P.P. Anthropogenic marine radioactivity. International Atomic Energy Agency, Marine Environment Laboratory, MC-98012, Monaco, 2000.

LU, X. & MATSUMOTO, E. Recent sedimentation rates derived from ^{210}Pb and ^{137}Cs methods in Ise Bay, Japan. **Estuarine, Coastal and Shelf Science** v. 65, p. 83-93, 2005.

MARTINS, C. C. **Avaliação da introdução de esteróis fecais e hidrocarbonetos marcadores geoquímicos em sedimentos da Baía do Almirantado, Península Antártica**. 116p. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Química e Geológica) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

MARTINS, C. C.; VENKATESAN, M. I.; MONTONE, R. C. Sterols and linear alkylbenzenes in marine sediments from Admiralty Bay, King George Island, South Shetland Islands. **Antarctic Science**, v. 14, p. 244-252, 2002.

MARTINS, C.C. & FIGUEIRA, R.C.L. Emprego de colunas sedimentares em estudos do histórico de atividades humanas. In: **Tópicos Avançados em Sedimentologia**. Poletto, C.; (Org.). 1o ed., Editora da Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH. 2008

MATISHOV, G. G.; MATISHOV, D. G.; NAMJATOV, A. N.; CARROLL, J.; DAHLE, S. Artificial radionuclides in sediments of the Don River Estuary and Azov Sea. **Journal of Environmental Radioactivity**, v. 59, p. 309–327, 2002.

MATTHIAS, B., SIMOES, J. C., VOGT, S., BREMER, U., BLINDOW, N., PFENDER, M., SAURER, H., AQUINO, F. E. & FERRONZ, F. A. An improved topographic database for King George Island: compilation, application and outlook. **Antarctic Science**, v. 13, p. 41-52, 2001.

MOSQUERA, B. N. P. **Distribuição de Cs-137 em Árvores Frutíferas Tropicais**. Dissertação (Mestrado em ciências). Instituto de Física da Universidade Federal Fluminense, Niterói. p.101, 2004.

NAVAS, A.; SOTO, J.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, J. Radionuclides in soils of Byers Peninsula, South Shetland Islands, Western Antarctica. **Applied Radiation and Isotopes** v. 62, p. 809–816, 2005.

RAKUSA-SUSZCZEWSKI, S. Environmental conditions and the functioning of Admiralty Bay (South Shetlands Islands) as a part of a part of near shore Antarctic ecosystem. **Polish Polar Research**, v. 1, p. 11-27, 1980.

RAKUSA-SUSZCZEWSKI, S. The hidrography of Admiralty Bay and its inlets, coves and lagoons (King George Island, Antarctic). **Polish Polar Research**, v. 16, p. 61-70, 1995.

RISEBROUGH, R. W. Chemical change in Antarctica – significance ? - a perspective. **Mar. Pollut. Bull.**, v. 25, p. 227-230, 1992.

SAITO, R. T.; FIGUEIRA, R. C. L.; TESSLER, M. G.; CUNHA, I. I. L. Pb-210 and Cs-137 geochronologies in the Cananeia-Iguape Estuary (São Paulo, Brazil). **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 249, p. 257-261, 2001.

SCHULLER, P.; VOIGT, G.; HANDL, J.; ELLIES, A.; OLIVA, L. Global weapons fallout ^{137}Cs in soils and transfer to vegetation in South-Central Chile. **J Environ Radioact.** v. 62, p.181– 93, 2002.

SKOOG, A. D., HOLLER, F. J. & NIEMAN, T. A.; **Principles of Instrumental Analysis**; 5th edition; Saunders College Publishing, 1998.

SMITH, J N. & BEWERS, J. M. Radionuclides in the marine environment – uses and concerns. **Canad. Chem. News.**, October, p. 23-25, 1993.

STRAND, P.; HOWARD, B.J.; AARKROG, A.; BALONOV, M.; Y. TSATUROV, Y.; BEWERS, J. M.; SALO, A.; SICKEL, M.; BERGMAN, R.; RISSANEN, K. Radioactive contamination in the arctic sources, dose assessment and potential risks. **Journal of Environmental Radioactivity** v. 60, p. 5–21, 2000.

TESSLER, M. G. **Taxas de sedimentação holocênica na plataforma continental sul do Estado de São Paulo.** Tese de Livre-Docência. Universidade de São Paulo. Instituto Oceanográfico. São Paulo. SP. p.155, 2001.

TUBERTINI, O., BETTOLI, M. G., CANTELLI, L., TOSITTI, L., VALCHER, S., TRIULZI, C., MARZANO, F.N., MORI, A., VAGHI, M., SBRIGNADELLO, G., DEGETTO, S., FAGGIN, M. Italian Antarctic Research Program: Environmental Radioactivity Survey Around the Italian Base (1987-1991) Terra Nova Bay - Ross Sea Region. **J Environ Radioact** ; v. 28, p. 35-41, 1995.

UEDA, S.; OHTSUKA, Y.; KONDO, K.; INABA, J. Sedimentation rate in brackish Lake Obuchi, Rokkasho Village, Japan, bordered by nuclear fuel cycle facilities. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 264, p. 343-349, 2005.

VENDRAME, A.C.F. **Níveis de ^{137}Cs em Colunas Sedimentares da Região da Baía do Almirantado, Península Antártica.** Dissertação (Mestrado em Química Ambiental e Ecotoxicologia). Universidade Cruzeiro do Sul, São Paulo. 71 p, 2007.

WALKER, M.J.C. **Quaternary Dating Methods.** Ed. John Wiley & Sons, Chichester. 286 p, 2005.

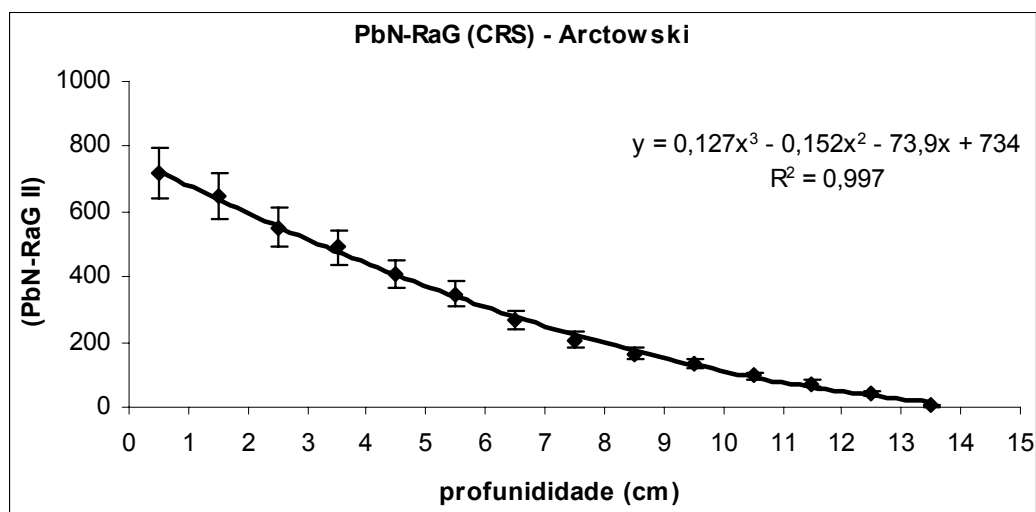
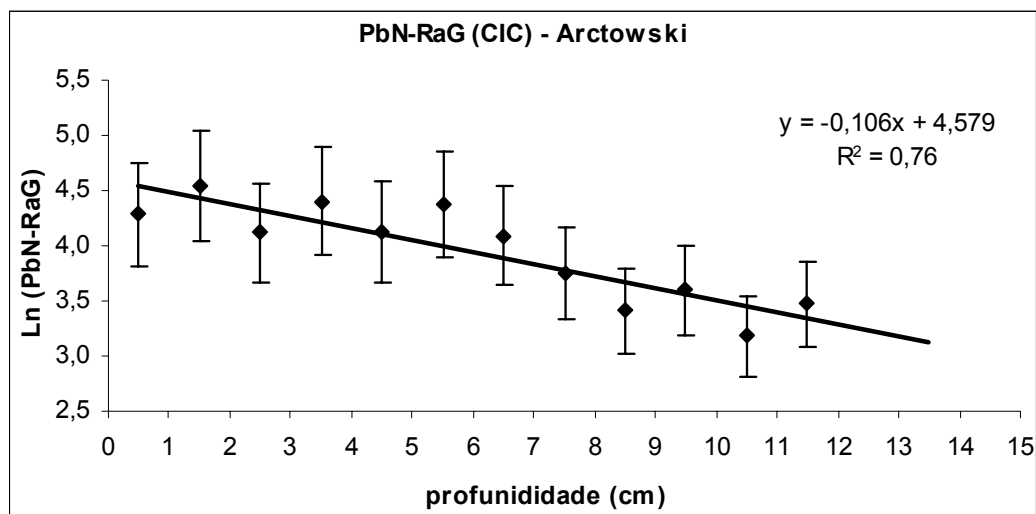
XAVIER A. M.; LIMA, A.G.; VIGNA, C. R. M.; VERBI, F. M.; BORTOLETO, G.G.; GORAIEB, K.; COLLINS, C.H.; BUENO, M. I. M. S. Marcos da história da radioatividade e tendências atuais. **Química Nova**, v. 30, p. 83-91, 2007.

ZUO, Z.; EISMA, D.; BERGER, G. W. Determination of sediment accumulation and mixing rates in the Gulf of Lions, Mediterranean Sea. **Oceanologica Acta**. v. 14, p. 253-262, 1991.

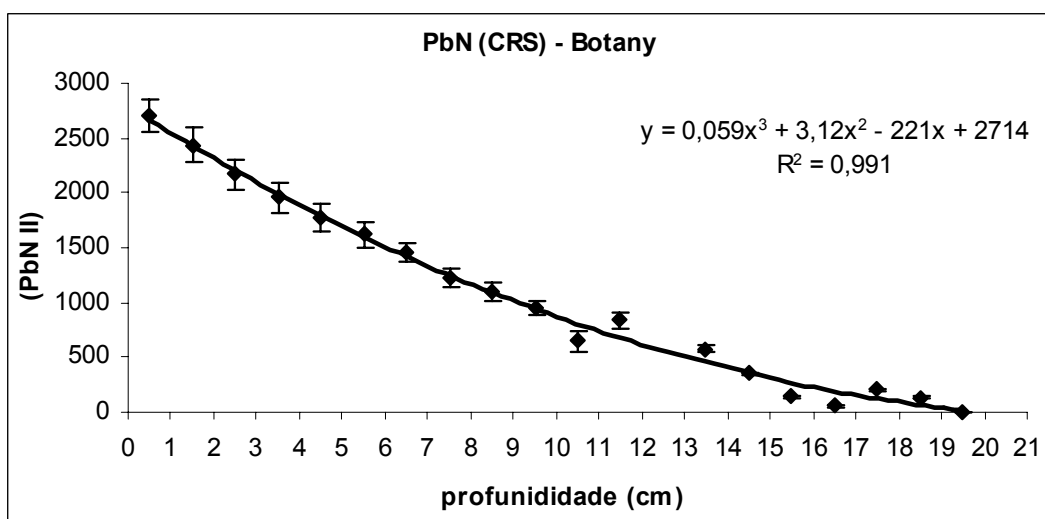
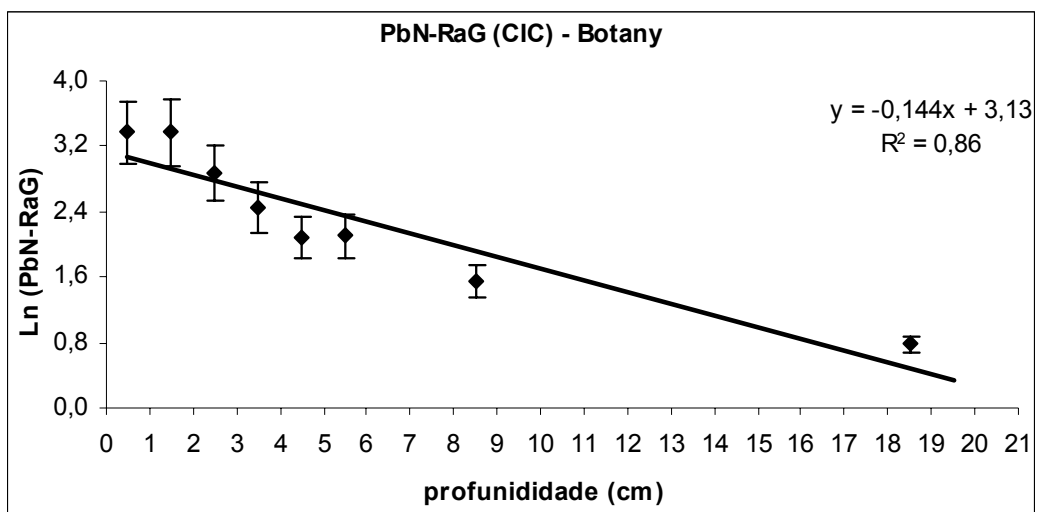
ANEXO

ANEXO 1 – Gráficos de obtenção das taxas de sedimentação por ^{210}Pb , por CIC e CRS para as cinco seqüências sedimentares analisadas.

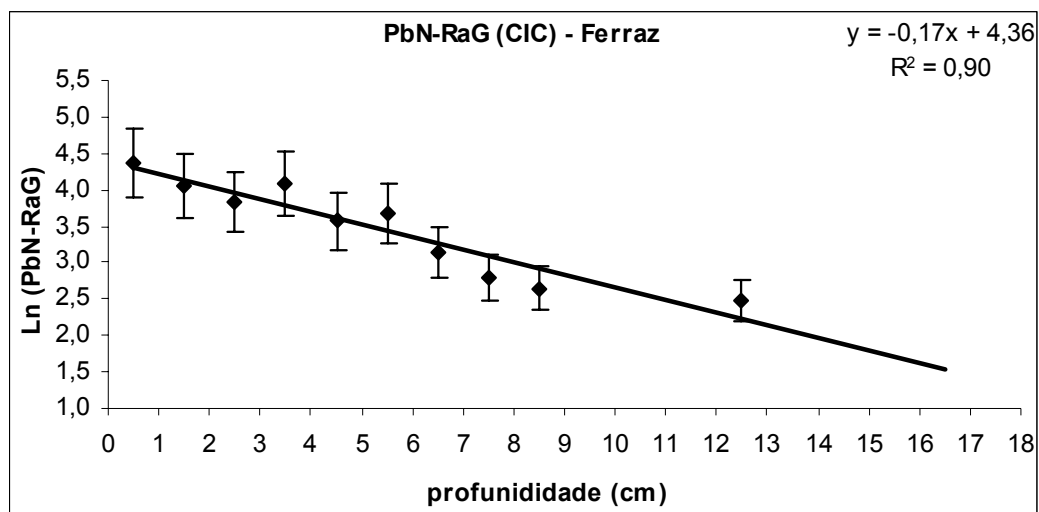
PERFIL ARCTOWSKI



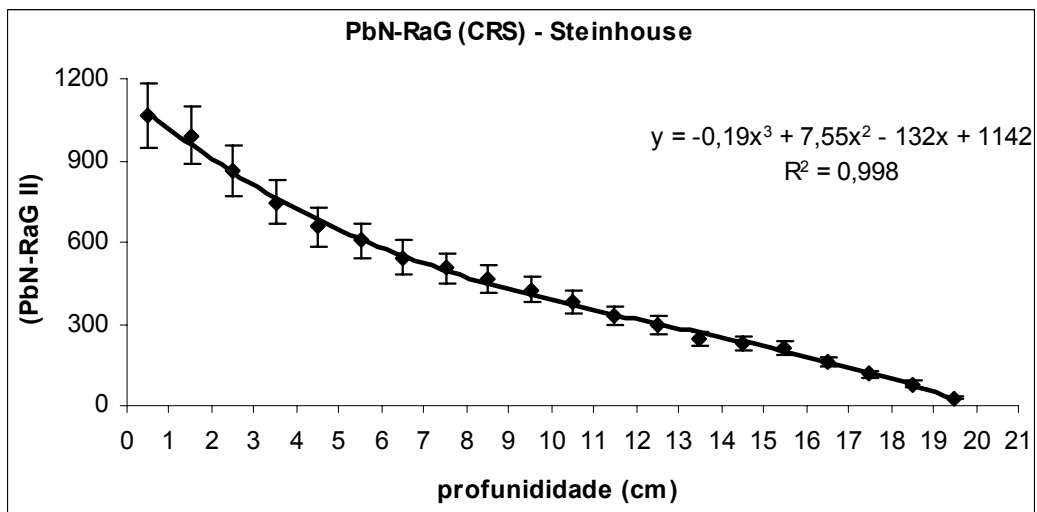
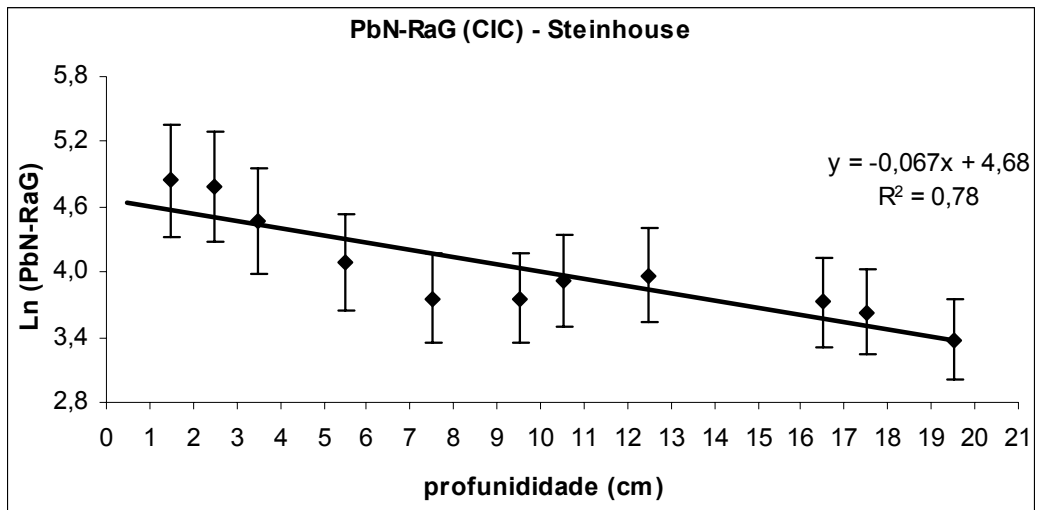
PERFIL BOTANY POINT



PERFIL FERRAZ



PERFIL STEINHOUSE



PERFIL PONTA ULMANN

